

317057
tanulmányok

169/1985

MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet Budapest



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
SZÁMITÁSTECHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI KUTATÓ INTÉZETE

ALKATRÉSZGYÁRTÁSI FOLYAMATOK AUTOMATIZÁLT TERVEZÉSE

Írta:

HORVÁTH MÁTYÁS

Tanulmányok 169/1985

Doktori disszertáció

A kiadásért felelős:

DR VAMOS TIBOR

HORVÁTH MÁTYÁS tanszékvezető egyetemi tanár

BME Gépgyártástechnológia Tanszék
Bp., XI. Egrı József u. 1. (E) ép.

ISBN 963 311 189 7

ISSN 0324 - 2951

SZÁMALK Repro 85/178

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	5
1. AZ AUTOMATIZÁLT TECHNOLÓGIAI TERVEZÉS	
FEJLŐDÉSÉNEK FŐ IRÁNYAI	9
1.1. Az automatizált technológiai folyamattervezés módszerei és rendszerei	10
1.2. A kutatómunka tárgya és céljai	24
2. AZ AUTOMATIZÁLT TECHNOLÓGIAI TERVEZŐRENDSZEREK	
FELADATAI, FELÉPÍTÉSE ÉS MŰKÖDÉSE	26
2.1. Az automatizált tervezési folyamat modellje	28
2.2. A keretrendszer	30
2.3. Modularitás, kompatibilitás	31
2.4. Közbenső nyelvek	33
2.5. Feladatleíró nyelvek és az ember-gép kapcsolat más eszközei	36
2.6. Adat- és tudásbázis	39
2.7. Az automatizált tervezés üzemmódjai	41
2.8. Az automatizált tervezés helye és ideje	42
2.9. A technológiai tervezés kapcsolata más rendszerekkel	43
2.10. Integrált rendszerek	46
3. TÁRGYAK, RENDSZEREK ÉS FOLYAMATOK MODELLEZÉSE	49
3.1. A munkadarab modellje	50
3.2. A szerszám modellje	55
3.3. A szerszámgép modellje	55
3.4. Az MKGS-rendszer modellje	58
3.5. A gyártórendszer modellje	61
3.6. A gyár modellje	63
3.7. A forgácsolási folyamat modellje	64
3.7.1. Az alakképzési folyamat modellezése	65
3.7.2. A megmunkálási folyamat stabilitása	76

3.7.3. A forgácsolási paraméterek meghatározásának matematikai modellje	78
3.7.4. Szerszámmozgások modellezése	88
4. AZ AUTOMATIZÁLT TERVEZÉS MÓDSZEREI ÉS ELVEI	96
4.1. Az alkatrészgyártási folyamat sajátosságai	97
4.2. Tervezési feladatok és műveletek	101
4.3. A tervezés és a tudásreprezentáció módszerei	109
4.3.1. A variáns módszer	109
4.3.2. A generatív szintézis módszere	110
4.3.3. A félgeneratív szintézis módszere	112
4.3.4. Szakértői rendszerek a technológiai tervezésben	115
4.4. Néhány fontos tervezéstechnikai elv	121
5. NÉHÁNY ÖSSZETETT TERVEZÉSI FELADAT MEGOLDÁSA	124
5.1. Előtervezés	124
5.2. A gyártási sorrend tervezése	125
5.3. Műveletek tervezése	137
5.4. Műveletelemek tervezése	145
ÖSSZEFOGLALÁS	153
2.1. Melléklet: FORTAP példa	157
3.1. Melléklet: Általánosított vonalfelület	167
3.2. Melléklet: Szerszámkártya	171
3.3. Melléklet: Szerszámgépkártya	171
3.4. Melléklet: Az öttengelyes megmunkálóközpont modellje	176
3.5. Melléklet: Az MKGS rendszer modellje	182
IRODALOM	191
Ábrák	206

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Amikor e dolgozatot útjára bocsátom mindenekelőtt Bálint Lajos és Gárdos György emlékének adózom hálás tisztelettel. Előrelátásuknak és bátorságuknak köszönhető, hogy a számítógépek gépgyártástechnológiai alkalmazása hazánkban idejekorán megkezdődhetett.

Hálás vagyok mindazoknak, akikkel együtt a számítógépes technológiai tervezés és NC programozás hőskorában a tudatlanok bátorságával fogtunk irreálisnak látszó feladatok megoldásába és akik végig hűek maradtak e gyötrelmesen szép szakterülethez.

Köszönettel tartozom a kishitűeknek, az ellendrukkereknek, a minden újat ellenzőknek, akik kétkedéssel, gúnnyal, bírálattal nagyobb erőfeszítésekre késztettek.

Hálával tartozom Hajós Györgynek, aki hazánkban talán egyedül van megáldva azzal a kivételes képességgel, hogy a gépgyártástechnológia mindenkori kulcsproblémáit megragadja és megfogalmazza, szinte már a matematikai levezetések szigorúságával építse fel a korszerű gépgyártástechnológia épületét és aki az útmutatás mellett a kutatás-fejlesztés tárgyi feltételeinek megteremtésével is segítette munkámat.

Köszönöm Hatvany Józsefnek a lehetőséget, hogy vele együttműködve, vitatkozva-civódva szerény elképzeléseimet, eredményeimet megmérhessem és beágyazhassam abba a széles és korszerű környezetbe, amelyet ő teremtett meg.

Elismeréssel adózom Hazay Jenőnek, Jakab Mátyásnak és Kovács Lászlónak, akik bátran vállalták a soktengelyes gépek fejlesztésének beindításakor a technológiai szintáttöréssel szükségszerűen együttjáró kockázatot.

Restellkedve köszönöm meg Kranczler Máriának a kitartást, a sok-sok, feltalálással is felérő brilliáns megoldást, a fél szóból is értés, a zavarosan megfogalmazott gondolatok kris-

tálytisztává csiszolásának képességét, a majdnem végtelen türelmet, amelyet csak akkor veszített el, amikor tizembernyi feladat helyett csupán egyre valót kapott tőlem.

Köszönöm Nagy Sándornak a folyamatos együttgondolkodás lehetőségét, aminek eredményeként sok fontos rendszertechnikai és tervezési elv született meg.

Köszönöm Somló Jánosnak, hogy az optimalálási probléma új megvilágításával és megoldásával új feladatokat fogalmazott meg számomra is.

Hálás vagyok Tari Antalnak és Forró Lászlónak, akik már az első - és azóta is legsikeresebb - hazai NC gépcsalád fejlesztésekor felismerték, hogy NC gépeket csak számítógépekkel lehet és szabad programozni és akik azóta is - sok más ipari szakemberrel és vezetővel együtt - segítik a számítógépek gépészeti alkalmazásait.

Hálás vagyok Tóth Tibornak, aki megismertetett a folyamatábrák kissé bizzar jelölésrendszerével, egyik motorja volt már az első hazai kutatásoknak is és aki igényesen szerkesztette az első eredményekről beszámoló közös publikációinkat.

Köszönöm Vámos Tibornak, hogy ráirányította figyelmemet a mesterséges intelligencia módszerei által nyújtott lehetőségekre és mindennapos dorgálásaival kikényszerítette e dolgozat megírását.

S végül hálával tartozom minden volt és jelenlegi munkatársamnak, akik férfiasan elviselték a közös munkák olykor feleslegesen is sok fáradalmát és akik nélkül egyetlen elképzelésem sem valósulhatott volna meg.

BEVEZETÉS

A technológiai tervezés egyidős az emberi munkával. A szerszámkészítő ember végig gondolta az eszköz elkészítésének és alkalmazásának a folyamatát is. Ebben az ösztönös tervezőmunkában a hangsúly a szerszámkészítés folyamatán volt, mint ahogyan - viszonylagos bonyolultsága miatt - a munkának is nagyobbik része esett az eszközök készítésére.

A szerszámok készítése és alkalmazása a társadalmi munkamegosztás fejlődése során elkülönült egymástól, sőt az egyre bonyolultabb gépesített szerszámok, azaz a szerszámgépek megjelenésével kialakultak a szerszámgyártás speciális eljárásai is, de egészen a XIX. század végéig nem vált el a technológiai tervezés a gyártástól: a szakmunkás maga tervezte meg a megmunkálást, a szerelés folyamatát is.

A szerszám alapvető fontossága a fejlődés folyamán változatlan maradt, de a gépgyártás egészét tekintve a tervezésével és gyártásával kapcsolatos munkahányad egyre kisebb lett s ma már alig néhány százalékot tesz ki. A tervezés és gyártás súlypontja a szerszámok alkalmazására azaz a termelőeszközök és használati javak előállítási folyamatára helyeződött át.

A technológiai tervezés első forradalma a XX. század első évtizedében zajlott le a tömeggyártás elterjedésének részeként. Ekkor vált ugyanis külön a technológiai tervezés a gyártástól és ekkor lett a tervezés tudatos mérnöki tevékenységgé. Ebben az időben a tervezés és a szervezés még egységes egész. Ezt F.W.Taylor munkássága példázza, akinek nevéhez fűződik az első kísérlet a tervezés és szervezés tudományos igényű megközelítése terén is [1] .

A tapasztalatokat, a mérnöki intuiciót a tervezésnek egyre több csomópontján a tudatosság, az egzaktság váltja fel. Balaksin a méretláncok elméletével tudományosan megalapozta a helyzetmeghatározást és bázisválasztást [2], Szokolovszkij, Kovan és Korszakov a megmunkálási hibák számítását és terve-

zését [3, 4, 5], Kovan a ráhagyások meghatározását és elosztását a megmunkálások között [5].

A technológiai tervezőmunka a gyártás műszaki előkészítésének szűk keresztmetszete lett. Ezért már a számítógépek előtti korszakban több kísérlet született a tervezés termelékenységeinek növelésére. Ezek sorából kiemelkedik Szokolovszkij munkássága, aki kidolgozta az alkatrészek tipizálásának módszerét és rendszerét, a tipustechnológiák elvét és technikáját [6].

Mitrofanov érdeme, hogy a tipustechnológiát értelmezni tudta konkrét gyártási környezetre és kiterjesztette azt a gyártásra is, megalkotva a csoporttechnológia elvét, módszerét, gyakorlatát [7]. A csoportmegmunkálás nem csak a tervezés, hanem a gyártás termelékenységét is növeli. Sajnos, adekvát technikai eszközök hiányában a típus- és csoporttechnológia módszere a hetvenes évekig széles körben nem terjedhetett el.

A technológiai tervezés második forradalma a számítástechnikához kapcsolódik és fő jellegzetessége a tervezőmunka részleges automatizálása. A számítógép jelenti a tervezés adekvát eszközét teljesítőképesség, pontosság és információs háttér szempontjából, de a számítógép hat kényszerítő erővel az egzakt modellek, megoldási módszerek, a tervezésmetodika, a tervezésselmélet megalkotása irányában is. A számítógéppel segített technológiai tervezés egyik indítékát a numerikus vezérlésű szerszámgépek programozása szolgáltatta. A szerszámpályák tervezésére kidolgozott APT rendszerrel D.T.Ross máig ható irányt szabott a feladatleíró- és közbenső nyelvek, geometriai modellezés, a tervezőrendszerek felépítése terén [8]. G.K.Goranszkij végezte el az úttörő munkát a technológiai számítási és döntési feladatok automatizálásában [9]. A geometriai és a technológiai megközelítés sokáig egymással antagonisztikusnak látszott, s az ellentmondás feloldásában, a geometriai-kinematikai és technológiai feladatok integrálásában nem lebecsülendő jelentősége volt a hazai kutatásoknak is.

Ma a technológiai tervezés automatizálását a rendszerek népes családja szolgálja a hazai iparban is. Ezek egyrésze egyszerűbb vagy összetettebb NC processzor, másrésze csak a hagyo-

mányos technológiai környezetet szolgálja. Megjelentek az ipari alkalmazásban az első integrált tervezőrendszerek is, amelyek NC és hagyományos gépekre egyaránt képesek megmunkálási folyamatokat tervezni, sőt esetenként a gyártóeszközöket és azok gyártási technológiáját is megtervezik. A tervező- és programozó rendszerek többsége hatékonyan szolgálja a termelés és oktatás szükségleteit annak ellenére is, hogy a rendszertechnika, a döntési elvek, modellek, az optimalizációs módszerek tekintetében sok bennük az esetlegesség, következtetlenség, a múltból örökölt rossz hagyomány.

Napjainkban a technológiai tervezés harmadik forradalmának kezdeti szakaszát éljük. Az új forradalom az integrált gyártórendszerek, anyag- és adatfeldolgozó rendszerek, a felügyelet nélküli - vagy a német szóhasználatnál élve a felügyeletsszegény - gyártás, az "embernélküli gyár" fejlesztésével és egyre bővülő alkalmazásával kapcsolatos. E korszak legfontosabb jellemzője, hogy a technológiai tervezés és a gyártás teljes elkülönülése újból megszűnik. A gyártmánytervezés, a technológiai folyamatok és gyártóeszközök tervezése, a termelés programozása és irányítása, a minőség szabályozása nagy összetett rendszerre épül össze. A technológiai tervezés a gyártáshoz képest részben előidejű marad, részben azonban valósidejű funkcióvá válik, amennyiben a gyártórendszert és az egyedi gépeket irányító számítógépeknek alkalmasaknak kell lenniük a berendezések és folyamatok állapotának megítélésére, a hibák automatikus diagnosztizálására és elhárítására, a folyamatok részleges áttervezésére.

A technológus mérnök egyik feladata ebben az új szakaszban a gyártási feladatok megfogalmazása, a másik pedig a tervezőrendszerek fejlesztése és adaptálása. A tervezési módszerek már ma is elmaradnak a szükségletekhez és a számítástechnika lehetőségeihez képest s ez a szakadék tovább szélesedhet az új generációs számítógépek, irányítórendszerek közeljövőben várható megjelenésével.

Tökéletesíteni kell a rendszerek felépítését, működési módjait, pontosabb modelleket kell alkotni a gyártórendszerek, berende-

zések, eszközök és folyamatok, valamint a gyártmányok leírására, meg kell találni a hatékonyabb döntési és választási elveket és azok optimális kombinációit, új formákat kell alkalmazni a technológiai tudás reprezentálására, az optimálás és a problémamegoldás hatékony speciális és általános módszereit kell kifejleszteni és adaptálni, egyes esetekben sokszorosára kell növelni a valós idejű számítások és elemzések volumenét és sebességét ahhoz, hogy e szakadék a jövőben ne szélesedjék, hanem szűküljön.

E nagy feladatkomplexum néhány kiemelt fontosságú problémájának megoldási lehetőségeit tárgyalja e dolgozat. Tekintettel a témakör rendkívül összetett voltára legtöbb esetben megelégszik működő rendszerekre, publikációkra való hivatkozással, csak a nem publikált módszereket, eljárásokat fejti ki részleteiben.

1. AZ AUTOMATIZÁLT TECHNOLOGIAI TERVEZÉS FEJLŐDÉSÉNEK FŐ IRÁNYAI

A számítástechnika, a numerikus vezérlés, és az automatizált termelésirányítás jelentik azt a három legfontosabb húzóerőt, amelyek a számítógéppel segített technológiai tervezést létrehozták és fejlődését meghatározzák.

A számítógép a negyedszázad előtti megközelíthetetlenül misztikus és nehézkes monstrumból mára a mérnök okos és barátságos asztali munkaeszköze, munkatársa lett, mellyel nyelvi, grafikai úton lehet beszélgetni, a feladatokat ésszerűen megosztani. Teljesítőképessége a legnagyobb volumenű számítási-méretezési, döntési-választási feladatok gyors megoldására, intelligenciája a legjobb tervváltozatok előállítására, perifériái a tervek sokrétű dokumentálására is alkalmassá teszi. A mesterséges intelligencia legújabb eredményei - alakfelismerés, beszédelemzés és szintézis, logikai programozás és a problémamegoldás módszerei, adat- és tudásbázisok - ma már szinte kínálják a lehetőséget a legösszetettebb technológiai feladatok hatékony megoldására [10].

Túlzás nélkül állíthatjuk, hogy a numerikus vezérlés - amely ma már a számítástechnikához hasonlóan a mikroelektronikára épül - az automatizálás második forradalmát robbantotta ki. Az NC szerszámgépek, gyors és pontos pozícionáló képességük, a bonyolult mozgások könnyű kivitelezhetősége és az egyszerű, szabványos szerszámok alkalmazhatósága, valamint a papíron vagy mágneses adathordozón rögzített szimbólumokban megtestesült, olcsón és gyorsan változtatható programok révén a gyártás gazdaságos automatizálásának eszközeivé váltak a tömegszerűség minden tartományában. Az NC technika az adaptív irányítással párosulva már-már a szakmunkást is helyettesíti, hiszen képes az optimális megmunkálási feltételek meghatározására és beállítására. Az intelligens CNC vezérlések egyszerűbb tervezési funkciókat is ellátnak a mozgáspályák valósidejű generálása révén. A DNC számítógép már egész gépcsoportot irányít, s ha a munkadarabkezelés, valamint a termelés finomprogramozása is automatizálttá válik máris eljutunk az integrált

gyártórendszerekig [11]. Átfogó adatbázis megteremtésével, a gyártmány- és gyártóeszköztervezés, a technológiai tervezés, a felügyelet, a hibaelhárítás és a minőségsszabályozás bizonyos elemeinek automatizálásával az integrált gyártórendszer már integrált anyag- és adatfeldolgozó rendszerre teljesedik ki [12]. Ilyen rendszerekből, valamint a termelés-szervezés és -irányítás, az anyagmozgatás és raktározás magasabb szinten is automatizált megoldásaiból fejlődik ki az automata gyár [13]. Kuriózusként találkozunk már ma is vele, de ahhoz, hogy a nagyobb gyártási rendszerek automatizálása szélesebb körben terjedjen, hatékonyabbá kell tenni a technológiai tervezést is.

A számítógép ügyviteltechnikai, vállalatirányítási alkalmazása az NC technikától függetlenül indult s ma is annál sokszorta szélesebb területet ölel fel. Az automatizált vállalatirányítási, termelés-tervezési, -ütemezési és programozási rendszerek viszont csak akkor hatékonyak, ha megbízható adatokra építenek. Az adatok jó része - anyag, költség- és időnormák, be-rendezések alkalmazása stb - a technológiai tervezés terméke, ha ilyen tervezés egyáltalán folyik. Az egyedi, a kis- és középsorozatgyártásban kézi módszerekkel nem oldható meg, ezért ilyen környezetben a termelésirányítási rendszerek nem voltak hatékonyak. S mivel a teljes gépipari termelés 70-80 %-át éppen az alacsony tömegszerűség jellemzi, a termelésirányítási rendszerek kikényszerítették a technológiai tervezés számítógépesítését, mindenekelőtt a költség-, anyag- és időnormák, a gépterhelési adatok előállítását hagyományos gyártási környezetben is.

Az NC technika és a vállalatirányítás az oka annak, hogy a számítógéppel segített technológiai tervezés gyakorlatilag egyidős a számítástechnikával.

1.1. Az automatizált technológiai folyamat-tervezés módszerei és rendszerei

Az "automatizált tervezés" pontatlan és szerencsétlen kifejezés, amely orosz fordításból ered és úgy látszik teljesen meg-

honosodott. Jelentése azonos az angol eredetű "számítógéppel segített tervezésével" és az automatizálás részlegességét fejezi ki, ellentétben az automatikus tervezéssel. A tervezés automatizálásának szintje és alkalmazási területe a kezdeti időszakban szüntelenül növekedett, majd az interaktív perifériák és üzemmód megjelenésével megtorpant. Úgy látszik, hogy a növekedési folyamat újból felgyorsult, elsősorban a modellezési és tervezési módszerek fejlődése következtében.

NC programozás

A részleges automatizáltság talán legfontosabb jellemzője a korai NC programozási rendszereknek. Ezek sorában az APT [8] olyan iskolát teremtett, amely ma is meghatározza a technológiai tervezőrendszerek számos fontos vonását. Lényegében nem más mint egy fordítóprogram, amely átalakítja és részletesen kifejti az egyezményes, szabad formátumú nyelven írott definíciókat és technológiai utasításokat. Ugyanakkor azonban Ross munkássága iskolát teremtett a leírónyelvek szintaxisa, a horizontális és vertikális nyelvstruktúra, az alapszintű geometriai modellezés, a processzor-posztprocesszor elvvel és CLDATA-val jelzett rendszerstruktúra megalkotásával. Az APT az u.n. APT-szerű rendszerek egész családját indította útjára, amelyek legnagyobb jelentősége egyrészt abban mérhető le, hogy kiterjesztették a számítógép alkalmazását egyszerűbb megmunkálások és szerszámgépek programozására, másrészt pedig abban, hogy - megőrizve az APT külső jegyeit és belső struktúráját - technológiai tudással töltötték meg az NC programozást. Az APT-szerű rendszerek sorából kiemelkedik a NELAPT [14] és az EXAPT [15], de jelentősek a különböző moduláris, kisgépes "családtagok" is [16, 17, 18], amelyek tulajdonképpen egyrészt az APT részrendszereiként foghatók fel, másrészt viszont ügyesen kiegészítik azt egyes megmunkálások magasabb-szintű programozásával.

Sajnálatos módon az APT - tökéletességével és tekintélyével - bénította is a kutató-fejlesztőmunkát és ez a fékező erő különösen károsan hatott ott, ahol szerényebbek voltak a számítástechnikai lehetőségek, de voltak friss, s főleg technológiai

szempontból új elképzelések. Az APT ugyanis nagyteljesítményű számítógépet feltételezett, pedig ésszerű szegmentálással, magasabbszintű és technológiai szempontból egyszerűbben kezelhető geometriai egységek (pl. beszúrások, alászurások) alkalmazásával szerényebb eszközökkel is megoldhatók jelentős programozási feladatok. Az APT-től való eltérés minden formája hosszú ideig eretnekségnek számított, pedig olyan rendszerek, mint az AUTOPROG [19], SYMAP [20], SAP [21], vagy a FORTAP [22], a MELTS [23] és a COMPACT [24] a technológiai feladatok automatizálása, a magasabbszintű alakzatok bevezetése, a modularitás és a tervezési elvek terén számos új tudományos és gyakorlati eredményt hoztak. Az ilyen rendszerek igazi polgárjogot csak a miniszámítógépek s méginkább a mikroszámítógépek tömeges elterjedésével kaptak.

A mai helyzetet már a különböző cégek, vállalatok, egyesülések által ajánlott NC programozási rendszerek sokasága jellemzi [25, 26, 27, 28, 29, 30] amelyek igen hatékonyan oldják meg feladataikat, de leggyakrabban nélkülözik az APT nyitottságát, egyetemességét, és az alkalmazott módszerek, megoldások zártsága, speciális jellege akadályozza továbbfejlesztésüket. Úgy látszik időszerű egy megújulási folyamat, amely lehetővé teszi, hogy magasabb szinten ötvözzük a hatékonyságot a rugalmassággal, a speciálisat az általánossal.

T e c h n o l ó g i a i t e r v e z é s

Goranszkij munkássága [9] jelenti a számítógépes technológiai tervezés indítását a hagyományos gyártás területén. A két vonulat - az NC programozás és a hagyományos gépek technologizálása - csak napjainkban válik egységes egésszé s ebben nagy szerepe volt Goranszkij, majd később Cvetkov [31] tudományos eredményeinek. Goranszkij a technológiai adatok optimálásával és az időnormák számításával kezdett [32] s szinte forradalmasította a gazdaságos gyártásra vonatkozó nézeteket. Elvetette a Taylor által bevezetett "gazdaságos éltartam" fogalmát, sőt szakított az egyszerű szélsőérték számítással meghatározott "optimális éltartam" elméletével is és először fogalmazta meg

matematikai egzaktsággal mind a feladatot, mind a megoldás optimalitásának kritériumát. Ennek érdekében azonban újra kellett fogalmaznia dogmaként tisztelt nézeteket. A technológiai tervezés automatizálásának ez a sajátossága a mai napig érvényes, sőt bizonyára sokáig az is marad: miután nem volt a tervezésnek igazi elmélete, módszertana, a technológusok korábban nem operáltak egzakt modellekkel, megoldási módszerekkel, értékelési, becslési technikákkal, a tervezés automatizálása - különösen a magasabb szinteken - több a rutinmunkák gépesítésénél. Az automatizált technológiai folyamattervezés a gépgyártástechnológia tudományának fejlesztését jelenti és feltételezi, mivel minden újabb programmodul, adatbázisrészlet számítógépre vitele előtt az alapokig visszanyúlva tisztázni kell a probléma elméleti háttérét.

Goranszkij után Gillmann [33], Tóth Tibor [34], Somló [35], Kochan [36], Jacobs [37] és számos más kutató [38, 39], köztük a szerző is kutatta a technológiai optimálás különböző kérdéseit. Goranszkij későbbi munkássága során a magasabbszintű döntési-választási feladatok automatizált megoldására koncentrált erőfeszítéseit [40]. Eredményei megtermékenyítőleg hatottak nem csak a technológiai tervezés, hanem a teljes gépészeti AMT, sőt általában az AMT terén is.

Cvetkov fektette le a generatív elven alapuló automatizált folyamatszintézis alapjait [41]. S bár elméletével sok ponton nehéz egyetérteni, munkássága nyomán számos figyelemre méltó gyakorlati eredmény született. Ezek sorából kiemelkedik a TAUPROG család [42], amelyben elsősorban Tóth Tibor [43] és Vadász Dénes [44] munkássága tárgyiasult. Mindketten jelentősen továbbfejlesztették Cvetkov elveit és számos rendkívül ötletes fogással, módszerrel segítették sikerre e nemzetközi léptékkel mérve is új, figyelemre méltó rendszer családot.

A TAUPROG mellett az AUTOPLAN [45], az AUTOPROG [46] jelezte a kezdeti időkben a generatív elv életképességét, s később a CIMS/PRO [47], TIPS [48], APPAS [49], UTR/CPPP [50], AUTAP [51] is ilyen elven épült meg. Sajnos mindegyik közös jellemzője a nagy terjedelem, a nehéz adaptálhatóság. Ennek oka az elv mellett

több esetben súlyos rendszerteknikai tévedés.

Nagyon sok sikerrel alkalmazott rendszer a variáns elven alapszik, amelynek lényege, hogy tipustechnológiát dolgoznak ki az alkatrészek homogén csoportjaira, ezeket tárolják, majd az aktuális alkatrészhez visszakeresik és adaptálják a megfelelő technológiai tervet. Hatékonyságuk ellenére sem tekinthetők az ilyen rendszerek [52, 53, 54] a tervezési feladat igazi megoldásának, ha a tárolt terveket kézzel állítják elő.

Végülis ma a tervezés minden szintjére - műveleti sorrend, művelet, műveletelen - léteznek használható rendszerek, legalábbis bizonyos gyártási környezetre és bizonyos alkatrésztípusokra. Ennek ellenére a tervezőrendszerek fejlesztése állandó késésben van a lehetőségekhez és az igényekhez képest, bár világszerte tekintélyes energiát és munkát áldoznak építésükre. E stratégiai késésnek számos oka van. Ezek között a legfontosabbak a technológiai tudás reprezentálásának tökéletlen módszerei, a helytelen rendszerteknikai elvek, a tökéletlen rendszerstruktúrák, adaptálási technikák és modellek, a speciális megoldások alkalmazása.

Ez a megállapítás akkor is igaz, ha mindeme problémákban lenyűgöző fejlődésről adhatunk számot.

M o d e l l e z é s

A rendszerek fejlesztésével párhuzamosan fejlődött a modellezés elmélete és gyakorlata, bár meglehetősen hézagosan. E téren leglátványosabb az alkatrészek leírására szolgáló geometriai modellek fejlődése. Az APT után az első jelentős fejlemény a GEOMETR '66 [55] volt. Új elemeket hozott a FORTAP majd a TAUPROG a felületek technológiai attribútumainak bevezetésével, a technológiai lag együtt kezelhető geometriai elemcsoportok (alászúrás, beszúrás, menet, csúcsfészek, reteszhorony stb), mint magasabbrendű geometriai egységek, ú.n. formaelemek és a felületelemek hierarchiájának értelmezésével és alkalmazásával. Hasonló úton indult el az AUTOPROG, majd a SYMAP is, de a formaelemek túlságosan összetett volta, túlburjánzása és a sok elemváltozatot

egymástól megkülönböztető számjegyes kódok nehézkessége végeredményben semlegesítette a magasabb szintű elemek alkalmazásának előnyeit.

Később sajnos a geometriai modellezés két, egymástól független úton fejlődött. Az egyik út a bonyolult elemi felületek egzakt és jól kezelhető leírását eredményezte, de a felületcsoportok és alkatrészek építésének problémáját nem is érintette. Az u.n. szoborszerű, nem analitikus felületek modellezésében Coons [52] és Bezier [57] munkássága hozott korszakos eredményeket. Kiemelhető még Sabin [58], a hazai szerzők között Renner Gábor [59] Uj József [60] és Cser László [61] munkássága. A bonyolult felületek másik osztályát a vonalfelületek, vagy másnéven a vezetett felületek képviselik, amelyek geometriai leírása régen ismert [62], de technológiai alkalmazásukra csak az utóbbi években került sor [63, 64]. Előnyösen alkalmazhatók áramlástechnikai felületek modellezésére és megmunkálására.

A geometriai modellezés családfájának másik ága kizárta a bonyolult elemi felületeket és csak az alkatrészepítés kérdéseivel foglalkozott egyszerű geometriai elemekből (kocka, gömb, véges henger, téglatest, tórus stb). A testekkel operáló u.n. volumetrikus modellezés kiemelkedő eredményei a BUILD [65] és annak származékai [66], valamint a Voelcker nevéhez fűződő PADL [67]. Ez utóbbi talán az egyetlen matematikai értelemben abszolút korrekt rendszer, de e tulajdonság értékét nagymértékben csökkentti, hogy csak két elem típust ismer (véges henger és téglatest) és azok helyzete is erősen korlátozott.

Külön csoportot alkotnak az un. drótkeretes modellépítő rendszerek, amelyek először a geometriai elemek vázát építik fel, majd az élre feszítenek felületeket. Ilyen az APPLICON [68] és a magyar MODBUILD [69]. Rendkívül hatékonyak a grafika szemszögéből, gond viszont, hogy az alkatrészek építéséhez oly szükséges halmazműveletek az unió kivételével az ilyen modelleken nehezen alkalmazhatók.

Az egyszerű és a bonyolult felületek egy modellben való összekapcsolására először e dolgozat szerzője tett javaslatot [70],

de ez nem terjedt ki a szoborszerű felületekre. Ígéretesek Váradi munkái [71], amelyeket magasszintű grafika is támogat.

A legutóbbi években vált égetővé a mechanizmusok, gépek leírására is alkalmas geometriai modellek fejlesztése, amelyek a szerelés tervezését is hatékonyan szolgálják. E téren Grabowski koncepciója látszik a legátfogóbbnak [72].

Goranszkij óta elsősorban Somló munkássága nyomán kiteljesedett a technológiai adatok meghatározásának matematikai modellje. Sajnos, e modell olyan empirikus forgácsolásméleti összefüggésekre épül, amelyek némelyike - különösen az éltartam meghatározására szolgáló egyenlet - teljesen alkalmatlan a folyamat jellemzésére. Vissza kell nyúlni a forgácsolásmélet alapjaihoz, hogy e problémát megnyugtatóan rendezhessük.

Sokkal rosszabb a helyzet a teljes megmunkálási folyamat, a szerszám, a szerszámgép, a gyártórendszer modellezése terén. Úgy látszik, hogy e fontos kérdésekkel módszeresen csak e tanulmány szerzője foglalkozott.

Külön vonulatként tárgyalandó a technológiai tervezési folyamat modellezésének fejlődése. E kérdésben Cvetkov munkássága meghatározó jelentőségű [73], akkor is, ha számos megállapítása eleve hibás. Különösen vitathatók a megoldandó feladatok sorrendiségére, hovatartozására és a tervezés iterativitására vonatkozó javaslatokai.

T e r v e z é s i e l v e k

Az APT és az APT-szerű NC processzorok a generatív elv képviselői. Ezt az elvet alkalmazzák az összes ismert NC programozási rendszerek, azok is, amelyek a művelettervezési feladatokat is megoldják (pl. FORTAP). A tervezés magasabb szintjein (művelet- és sorrendtervezés) azonban az elv csak abban az esetben alkalmazható sikeresen, ha a modellezés és az adaptálás feladatát is jól megoldják. Éppen a feladatok megoldatlansága okozza e rendszerek nehézkességét, korlátozott hatékonyságát. Az EXAPT, AUTOPLAN, AUTOPROS, sőt bizonyos értelemben a TAUPROG is egzakt gép-, szer-

szám-, rendszermodellek nélkül operál, ezért nem tudják a folyamat struktúrájában, koncentráltóságában jól követni a feltételek változását, s a klasszikus processzor-posztprocesszor elv sem elegendő a környezethez való hatékony illesztéshez. A döntési táblák, táblázatos algoritmusok alkalmazása [74] ugyan javít a helyzeten, de a problémát általános modellek hiányában nem oldja meg.

A variáns, vagy csoporttechnológiai elv a művelettervezés és a sorrendtervezés automatizálása révén került előtérbe. Említettük már, hogy hatékony eszköz a tervezés termelékenységeinek növelésében, de a folyamat automatizált szintézisére nem alkalmas. A sok ilyen rendszer egymástól lényegében csak a tervek visszakeresésének és editálásának technikájában tér el egymástól. Új fejlemény az elv alkalmazása az NC programozásban, ahol a parametrikus formában leírt mozgástervek aktualizálása, alkatrészcsoportokra érvényes felszerszámozás és műveletterv jelentősen növeli a tervezés hatékonyságát.

Egyes rendszerek sikeresen kombinálják a variáns és a generatív elvet. Általában a magasabb szinteken (pl. sorrendtervezés és művelettervezés) tipustechnológiára építik a megoldást, míg a mozgást generatív úton tervezik. Ilyen a már említett PRO/CAM rendszer, s ezt a kombinációt alkalmaztuk a lentebb részletesebben ismertetett intelligens CNC vezérlésben, amely tervezési feladatokat is ellát.

A szerző javasolta a félgeneratív elv alkalmazását, amelyet azóta új irányként tartanak számon és amelyet szintén részletesen kifejtünk e dolgozatban.

Új irányzat a mesterséges intelligencia módszereinek alkalmazása a technológiai tervezésben. Brujevics [75, 76] és Suh [77] az axiomatikus tervezést ajánlja s ehhez a vonalhoz csatlakozik újabban Cvetkov is [78], de konkrét eredményeket nem értek el. Brujevics és Cseliscsev [79] munkájáról kiderült, hogy az nem más mint hagyományos algoritmusok óriási méretű készlete, Suh általánosan megfogalmazott axiómái sem a géptervezésben [80], sem a technológiában nem adnak

használható megoldásokat, s - néhány konkrétan használható szabálytól eltekintve - Cvetkov sem jutott túl az általános fejtegetéseken.

ígéretesebb Latombe GARI nevű rendszere [81], amelyet MACLISP-ven realizáltak és Sata TOM módszere [82], amely hagyományos algoritmikus nyelvet használ. Mindkettőnek hibája, hogy a konkrét tervezési feladatot nem oldja meg, ahhoz ajánlásokat generál, de magát a tervezést egyszerű posztprocesszálsági feladatnak tekinti és ezért nem is fejti ki. Részletesebb vizsgálat könnyen kimutatja e felfogás tarthatatlanságát, s azt is, hogy mindkét rendszer túlságosan környezet- és alkatrészfüggő tudást visz a bázisba ahhoz, hogy az általánosan alkalmazható legyen.

A szerző tette az első sikeres kísérletet az általános problémamegoldó módszerek, jelesen a logikai programozás alkalmazására. Márkus Andrással szakértői rendszert dolgozott ki, amely képes a sorrendtervek generálására tetszőleges alkatrészek esetében, úgy hogy a tudásbázist általánosan fogalmazta meg. A módszerről a dolgozatban részletesen szó lesz.

R e n d s z e r t e c h n i k a i e l v e k

A technológiai tervezés automatizálásának egyik sarkalatos problémája az általános és a konkrét kapcsolatának helyes megoldása, a közöttük feszülő ellentmondás feloldása. Arról van szó, hogy a feladatokat igyekszünk általánosan megoldani, de arra is kell ügyelnünk, hogy az általános alakban nyert megoldás konkrét környezetben is alkalmazható, illetve ahhoz könnyen adaptálható legyen. A konstrukciós tervezésben e probléma szintén létezik, de kevésbé élesen vetődik fel, mivel a gyártmány nem olyan mértékben környezetfüggő, mint a gyártás.

A technológiai tervezőrendszerek első generációja meg sem kísérelte a probléma megoldását. Az u.n. géporientált NC programozási rendszerek csak egy-egy adott szerszámgép-vezérlés együttes programozására voltak alkalmasak [89], s ha az együttes bármelyik tagja változott, új rendszert kellett fej-

leszteni. Érthető, hogy az első hullámban, a hatvanas években tiszavirág életűek voltak. Ma, a nagyteljesítményű mikroszámítógépek korában újból találkozunk velük szerszámgép- és vezérlésgyártó cégek kulcsrakész rendszerei alakjában. Nagyon valószínű (ezt csak sejteni lehet, mert a gyártók védik a rendszereket a megfejtés ellen), hogy csak kifelé viselkednek így, valójában viszont korszerűbb felépítésűek.

A második generációt az u.n. problémaorientált rendszerek képviselik. Első iskolateremtő reprezentánsuk az APT, amely a processzor-posztprocesszor elv meghirdetésével és alkalmazásával oldotta meg az általános és a konkrét összekapcsolását. Az ilyen rendszerek egy-egy átfogó probléma megoldására - pl. esztergagépek programozása - készülnek. A processzor oldja meg általános alakban az így megoldható feladatokat, a környezethez való illesztést és a speciális feladatok megoldását viszont a kisméretű posztprocesszorok végzik. Az elv ragyogóan működik egészen addig, amíg csak szerszámpályákat kell tervezni. Sajnos, az NC programozás művelettervezési feladat is, s ezen a szinten az elv már hatékonyan nem realizálható. A műveletelemek meghatározása, a szerszámválasztás és -elrendezés, a technológiai adatok automatikus számítása mind környezetfüggő feladat, amelyek a posztprocesszorban egyáltalán nem, vagy csak igen nehézkesen oldhatók meg. Új módon kellett megközelíteni a problémát. A szerző és Nagy Sándor fogalmazta meg a fokozatos illesztés elvét, amelynek lényege, hogy általános gép- és szerszámmodellekre építve már a processzorban minden tervezési döntést adaptálni kell a környezethez. Ez nem sérti a processzor általánosságát, viszont módszeressé teszi az adaptálást és a posztprocesszorra ilyen körülmények között csupán konvertálási feladatok hárulnak.

A problémaorientált rendszerek igen nagyméretűek és zárt végűek. Akkor működnek hatékonyan, ha az aktuális tervezési feladatok mérete és bonyolultsága összemérhető azzal a problémával, amelyre a rendszert kidolgozták. Ilyen feladat viszont ritkán adódik, ezért a rendszerek általában félgőzzel,

alacsony hatásfokkal, drágán dolgoznak. A megmunkáló központok megjelenése, a művelettervezési, majd sorrendtervezési feladatok megoldásának szükségessége is sürgette a rendszer végének felnyitását. Az alkatrészek sokszínűsége, a megmunkáló központok technológiai teljesítőképességének változatossága lehetetlenné tette a tervezési feladat összefoglalását néhány átfogó problémában. Nyitott végű, bővíthető, elemekből a mindenkori felhasználó igényei szerint összerakható "testre szabott" rendszerek építésének lehetőségét kellett megteremteni.

Ezt az igényt elégítik ki a moduláris felépítésű rendszerek, amelyek az aktuális tervezési problémakör, automatizáltsági szint és alkalmazási terület függvényében különböző rendeltetésű és számú, egymáshoz horizontálisan és vertikálisan csatlakozó modulokból épülnek fel. Véges modulkészletből nagyon sok különböző méretű és rendeltetésű rendszer építhető fel, az egyes rendszerek újabb modulokkal bővíthetők, szűkíthetők, sőt elméletileg az a lehetőség is adott, hogy az adott feladat megoldása közben álljon össze az aktuális alkalmazói rendszer. Ennek a nagyfokú rugalmasságnak természetesen igen nagy ára és sok előfeltétele van. Mindenekelőtt meg kell teremteni a modulok és tervezési szintek csatlakozásának feltételeit, létre kell hozni egy általános input processzort, egységesíteni kell az eredmények belső ábrázolását, meg kell oldani a kényelmes kompilálás, a szükségszerűen nagyobb adatbázishoz való könnyű hozzáférés feladatát stb.

A technológiai tervezésre vonatkozóan a szerző vezetésével egy szűkebb kollektíva dolgozta ki a harmadik generációsnak nevezhető rendszerek koncepcióját [85]. Ennek jórészt megfelelően épült a KGST egységes NC processzora és a BME sorrendtervező rendszere is. Nyelvgenerátora, input-dekód processzora, a belső ábrázolások rendszere, a monitor sikeresnek mondható, az adatkezelés kevésbé. Természetesen meg kellett fizetni a korábban már említett árat is: egyéb azonos feltételek mellett a rendszer lassabban működik, mint teljesen speciális, az éppen futó feladatra méretezett problémaorientált rendszer.

Tulajdonképpen ebbe a csoportba sorolandók az integrált tervezőrendszerek céljaira kidolgozott általános monitorok is, mint az ICES [86] és az ISzP-2 [87], vagy annak interaktív változatai az IPSI [88] és a MEMO [89]. Lényeges különbség, hogy míg ezek csak általános célú keretrendszerek, az előbbieik konkrétak, amennyiben a funkcionális modulok egy viszonylag bő alapkészletét is magukban foglalják.

Az integrált tervezőrendszerekben még sok lehetőség rejlik, akkor is, ha alkalmazásukat a sok kis, speciális, de hatékony mikrogépes tervezőrendszer átmenetileg vissza is vetette.

D ö n t é s i - v á l a s z t á s i m ó d s z e r e k

A technológiai tervezés igen sok és alkalmasint bonyolult geometriai és aritmetikai jellegű részfeladata ellenére a legnagyobb problémát a döntési, választási feladatok megoldása jelenti, két okból is. Egyrészt, az aritmetikai és geometriai feladatok jól modellezhetők, másrészt ezek a modellek igen gyakran könnyen realizálhatók általános alakban is. A döntési feladatok esetében viszont ma még nem beszélhetünk egzakt modellekről sem és nehezen teremthető meg a döntés általános érvénye, valamint a konkrét esetre való alkalmazás lehetősége és hatékonysága közötti kapcsolat is. A technológiai döntések és választások jellegzetessége egyrészt az igen sok lehetőség, másrészt viszont a környezettől való nagyfokú függőség. Ez utóbbit részint objektív feltételek (berendezések parkja, eszközök készlete), részint pedig jó vagy rossz helyi szokások, konvenciók okozzák, amelyekhez sokszor akkor is alkalmazkodni kell a rendszernek, ha konzervatívak, hibásak.

A létező rendszerek - a modellezés már tárgyalt gyengeségei mellett - éppen e kérdésekben a leggyengébbek. A döntési módszerekben, taktikákban, az egyes döntések sorrendjében rejlik a generatív elvű rendszerek fogyatékoságainak legfőbb oka. (A variáns elv esetében ez a kérdés fel sem merül, a tudásbázisú, intelligens, nagy szakértői rendszerekről még kevés a tapasztalat, bár az sem túlzottan kedvező).

Az egyik alapvető probléma, hogy e rendszerek olyan kész döntési sémákban "gondolkodnak", amelyek közvetlenül tükrözik a jó esetben korszerű ipari tapasztalatokat. Ha forgásterestről van szó, akkor a rendszer reflexszerűen az esztergálást választja s ha tengelyt kell esztergálni, akkor a csúcsesztergát keresi, holott egyik döntés sem egyértelmű. Így aztán a rendszerek befagyasztják a gépparkot, az alkalmazható eljárások körét s velük együtt a környezetet, a tömegszerűséget is. Kivétel nélkül minden rendszer és tudományos elemzés megfelelkezik arról, hogy az alkatrész, a megmunkálások, a berendezések, a gyártóeszközök és a folyamat tagolása (művelet, műveletelem) között igen bonyolult kölcsönkapcsolat rendszer létezik, amelyet érvényesíteni kell. Ez pedig csak úgy lehetséges, ha az aktuális döntést egészen addig késleltetjük, míg a kölcsönhatások eredője az adott esetben ismertté nem válik. Akkor viszont azonnal dönteni kell.

Sok rendszer hibás sorrendet alkalmaz a részfeladatok és az azokhoz tartozó döntések megoldásában, meghozatalában. Ennek egyik alapvető oka a "kézi" módszerek mechanikus leutánczásában, a másik a rendszerstruktúrák túlzott leegyszerűsítésére való törekvésben rejlik. Rossz példa gyanánt megemlíthető az EXAPT rendszer, amely túl korán végzi el összes - egyébként csak a szerszámmozgások tervezéséhez szükséges geometriai számításokat és cipeli a sokszor elképesztően sok geometriai adatot sok-sok szegmensén át, vagy Cvetkov rendszerterve, amely túl későre, a művelettervezéshez sorolja a gép- és készülékválasztást és ezért többszöri - helyes döntési szint esetén felesleges - visszacsatolásra kényszerül, de negatív példaként szolgál az AUTOPROS is, amelyben viszont túl korán történik meg a szerszámgépek kiválasztása.

Általában helytelenül oldják meg a processzorok környezetfüggétlenségének problémáját. A leggyakoribb hiba az, hogy a processzorokba építik a kifejezetten környezetfüggő megoldásokat, így azok csak apró környezetváltozások követésére képesek. A szerző fogalmazta meg először a gyártási folyamat kettős lényegét, hogy t.i. az egyrészt a munkadarab környezet-

től független, objektív átalakulásának diszkrét folyamata, amelyet csak az előgyártmány kiindulási állapota és a megmunkált munkadarab előirt végállapota határoz meg, másrészt viszont a változó környezettől függő megmunkálásoknak a munkadarab kívánt átalakulását realizáló sorozata. Ilymódon a technológiai tervezés is kettős feladat, azaz egyfelől meg kell határozni a munkadarab átalakulásának közbenső állapotait, másfelől ezekhez megmunkálásokat, gépeket stb kell rendelni a környezet és az aktuális gazdasági cél függvényében. Az általános a munkadarab változása, az igények meghatározása, a speciális pedig a hozzájuk rendelhető megoldások halmaza. Ez utóbbi csak adatbázisba építhető s az így szükségképpen tudásbázissá is válik. A munkadarabok végtelen változatossága és a környezet változásának árnyalt követése csak a dekompozíció módszerével követhető.

A részfeladatok helyes sorrendisége az információ "entalpiájának", azaz az adatok tömörségének a megőrzése, a dekompozíció elvének a betartása, a döntéshozatal pillanatának optimálása és a környezetfüggő tudás adatbázisba vitele a legfontosabb döntési, választási elvek, amelyek helyes megfogalmazása és realizálása a tervezőrendszerek hatékonyságát, rugalmasságát meghatározzák.

A t e r v e z é s h e l y e, i d e j e, ü z e m m ó d j a

Az automatizált tervezés kezdeti szakaszában, amikor a távoli nagyszámítógépekkel csak az input-output ablakokon keresztül tarthatták a kapcsolatot e kérdéskomplexumra egyszerűen lehetett válaszolni: A tervezés a számítóközpontban, a gyártás előtt és köteget üzem módban folyik.

Változott a helyzet az interaktív perifériák, az időosztásos operációs rendszerek, a hálózatok kialakulásával és a helyi intelligenciával rendelkező gyártóberendezések megjelenésével. Minden kérdésre több válasz lehetséges ma, és igen nagy eszmei zűrzavar alakult ki. Sokan abszolutizálják az interaktivitást és elvetik a determinizmust, tagadják a tervezés előidejűségét és idealizálják a szerszámgépen realizált valósidejű tervezést,

elejtik a nyelvi bemenetet és csak a párbeszédet ismerik el, holott a kérdés korántsem ilyen egyszerű. Az új, komfortos lehetőségeket ésszerűen kell felhasználni a gyártás és a tervezés hatékonyságának további növelésére, s nem használhatók fel arra, hogy elfedjék a tervezés hiányosságait, hogy mentesítsék a tervezőrendszerek fejlesztőit a folyamatok jobb modellezésétől, az automatikus megoldások fejlesztésétől.

E kérdéskör helyes megválaszolása részévé vált a tervezésselmenetnek, a sokszintű, elosztott paraméterű tervezőrendszerek optimális felépítésének.

1.2. A kutatómunka tárgya és célja

A szerző 1967 óta foglalkozik a számítástechnika alkalmazásával gépipari gyártási folyamatok tervezésében. E tizenötéves munka - amely jól illeszkedik az adaptív vezérlések korábban kandidátusi értekezésben is megfogalmazott kutatásához - átfogja az alkatrészgyártás tervezésének minden szintjét és feladatát, az automatizált tervezőrendszerek minden elemét, az egyedi gyártóberendezések és gyártórendszerek minden típusát. Eredményeit és kudarcait hazai és nemzetközi publikációk, itthon és külföldön alkalmazott tervezőrendszerek, vezérlések és szerszámgépek, integrált gyártórendszerek és mindezek problémái jelzik.

A munka sajátossága, hogy kezdettől fogva kisebb-nagyobb közösségekben folyt a GTI-ben, a SZTAKI-ban, az SPE-ben, ad-hoc bizottságokban, a BME-n, az NME-n. A kudarcok a szerzőié, az eredmények közösek. Ez utóbbiakat ma már tucatnyi műszaki doktori, féltucatnyi kandidátusi, sőt akadémiai doktori értekezés is jelzi.

Ebben az értekezésben a szerző saját eredményeit igyekszik összefoglalni. Természetesen kénytelen hivatkozni olyan rendszerekre, amelyek kollektív munka eredményeként jöttek létre. Ilyen esetekben is kiemeli a rendszerekből azokat a módszereket, modelleket, megoldó eljárásokat, elveket, elméleti és kísérleti eredményeket, amelyek a nevéhez kötődnek, elismerve ugyanakkor, hogy realizálásuk közösségi munkában valósult meg,

hogy ezek többsége a korábbi kollektív - pozitív vagy negatív - eredményekből nőtt ki, sőt azok nélkül a probléma, az igény sem fogalmazódhatott volna meg.

Elkerülendő a terjengősséget, a monográfia kísértését a korábban realizált és publikált eredményeket a szerző igyekszik inkább hivatkozásokkal dokumentálni és tömören, jelzésszerűen összefoglalni, hogy ésszerű terjedelemben kifejtthesse az újabb eredményeket, a rendszerekben még nem teljesen realizált és részletesen nem publikált módszereket.

Az értekezés célja, hogy kísérletet tegyen az automatizált technológiai tervezés átfogó módszertanának, tervezésselméleti alapjainak megfogalmazására, az automatizált technológiai tervezőrendszerek felépítésének, működésének, ismérveinek, a legösszetettebb nyelvi, döntési, választási, modellezési, optimálási, összekapcsolási feladatok lehetséges, s a szerző által kidolgozott megoldási módszereinek összefoglalására. A téma jellegéből adódóan mindeme feladatokra lehetségesek más válaszok is, azokkal azonban a szerző csak annyiban foglalkozik, amennyiben az azoktól való eltérést, az új módszer kidolgozását, vagy annak újszerűségét indokolni, igazolni kell. A szerző természetes kötelességének tartja, hogy név szerint is feltüntesse mindazokat, akik részt vettek egy-egy általa javasolt módszer, kidolgozott elképzelés részletes kimunkálásában, megvalósításában.

2. AZ AUTOMATIZÁLT TECHNOLÓGIAI TERVEZŐRENDSZEREK FELADATAI, FELEPÍTÉSE ÉS MŰKÖDÉSE

Az automatizált technológiai tervezőrendszerrel (ATTR) elvárjuk, hogy az egyezményes módon megfogalmazott feladatot automatikusan, az ember beavatkozása nélkül megoldja és a gyártási dokumentációkat előállítsa. A megfogalmazásban az ember tudatosan nem szerepel, bár nyilvánvaló, hogy a tervezés ember-gép rendszerben történik. Ennek a megfogalmazásnak kettős oka van: egyrészt az ATTR-től a lehetséges maximumot, a teljesen automatikus tervezést várjuk s az ember feladatát a feladat megfogalmazására korlátozzuk, másrészt az ember nem is mindig közvetlenül fogalmazza meg a tervezési feladatot, hanem azt más automatizált (pl. konstrukciós, irányítási, felügyeleti stb) rendszer közvetíti sok-sok áttételen át.

Ez a maximalizmus egy determinisztikusan is működni képes rendszer megfogalmazásához vezet, ami látszólag ellentmond az interaktivitás általánosan elfogadott elvével és gyakorlatával. Az interaktivitást nem zárjuk ki, sőt - amint azt később részletesen is kifejtjük - alkalmazzuk is. A determinizmus annyit jelent, hogy olyan rendszerben gondolkodunk, amely minden részfeladatot képes emberi segítség nélkül megoldani, nem zárva ki annak lehetőségét, hogy a tervezési folyamat csomópontjaiban az ember felülbírálja, elfogadja, vagy módosítsa a felkínált megoldásokat. Egyébként az ATTR-ek az interaktivitáson át szükségszerűen az egyre fokozottabb determinizmus irányába fejlődnek, mivel fejlődnek a tervezési módszerek, egyre több feladatot tudunk formalizálni s a determinisztikus üzemmódra egyre égetőbb szükség van az integrált rendszerekben, pl. a felügyelet nélküli gyártásban. A teljes automatizmus igénye kényszerít bennünket arra, hogy a legnehezebben formalizálható feladatok megoldására is kísérletet tegyünk.

Az alkatrészgyártás technológiájának tervezését négy szintű, négylépcsős folyamatként fogjuk fel. A kérdéssel átfogóan csak Cvetkov [78] foglalkozott, aki - helytelenül - három

szintben gondolkodik. Mi az első lépcsőnek a gyártási sorrend (eljárások, berendezések, műveleti határok, befogási helyzet, készülék, műveletközi állapotok) meghatározását tekintjük, másodiknak a művelettervezést (műveletelemek, ráhagyások, szerszámok, szerszámelrendezés meghatározása), harmadiknak a műveletelemek részletes kifejtését (mozgásfeltételek és mozgáspályák), s a negyedik lépcsőt a posztprocesszálas (illesztés, konvertálás, speciális feladatok megoldása) képviseli [90]. A négy szintre tagolás rendszerelméleti, rendszertechnikai szempontból könnyen igazolható.

A tervezési folyamat nem mindig öleli át mind a négy szintet, hiszen az függ a környezettől, a gépparktól, a gépkezelők szaktudásától, a konkrét feladattól, a számítástechnikai lehetőségektől stb. Ha alacsonyabb szinten kezdődik, akkor a magasabb szinteket rendszerint "kézi" módszerekkel fedik le, s ha magasabb szinten fejeződik be, akkor az alacsonyabb szintek által képzendő információkat normatív adatokkal pótolják. A részleges tervezés automatizálása mindenképpen egyszerűbb feladat, ezért célszerű, ha a teljes négyszintű folyamatot vizsgáljuk. A négy lépcső bizonyos tervezési elvek alkalmazásával részlegesen összefonódhat, de a különböző lépcsőkben megoldandó feladatok eltérő jellege miatt azok célszerűen külön kezelendők.

A technológiai tervezés legfelső szintjét, a sorrendtervezést megelőzi a technológiai előtervek kidolgozása. Az előtervezés stratégiai feladat, amelynek megoldása során kialakul az előgyártmány, az alkatrészek szerelés előtti állapota, megtörténik a gyártási méretláncok és megvalósításuk módszereinek meghatározása, a gyártórendszerek kiválasztása és azzal együtt a folyamat elvi vázlatának (eljárások, berendezések) meghatározása. Az előtervezéshez csatlakoznak az előgyártás, az alkatrészgyártás és a szerelés tervezésének legfelső szintjei.

A tervezési folyamat vizsgálata során az előtervezéssel nem foglalkoztunk, mert ma még e fázis automatizálása nem valósult meg. Megfelelő "gyármodellek" birtokában a feladat nem

jelenthet leküzdhetetlen akadályt. Ezért a jövőben az előtervezést célszerűnek látszik legfelső szintként bekapcsolni az immár ötszintes folyamatba.

2.1. Az automatizált tervezési folyamat modellje

Az átfogó ATTR felépítésére, a feladatok részletezésére és sorrendiségére vonatkozó javaslatunk, amely már számos rendszerben realizálódott a 2.1 ábrán látható. Jellegzetessége, hogy a keretrendszert nem részletezi, mivel azt a számítógéptudomány részeként kezeljük. Ilymódon a folyamatára csak a technológiai tervezés hatáskörébe tartozó részfeladatokat és rendszerkomponenseket tünteti fel. Az átfogó rendszer nem csak a folyamatot, hanem a hiányzó gyártóeszközöket is megtervezi [91], ha az adatbázisban nem talál alkalmasakat.

Az ábrából látható, hogy a keretrendszer feladatainak tekintjük a teljes ATTR vezérlését, a szintek és modulok összekapcsolását, az ember-gép kommunikáció megvalósítását, az input-dekódolási feladatok végrehajtását, az adatkezelést.

Nyomon követhető az a törekvés is, hogy a feladatokat dekomponáljuk, valamint az is, hogy minden szinten csak a minimálisan szükséges tartalmú és mennyiségű információt állítsuk elő és tároljuk.

A részfeladatok végrehajtásának sorrendje élesen eltér a kézi tervezés során megszokottól. Az eltérés a számítógépes tervezés sajátosságaiból ered: ma még nincsenek meg a feladat globális átlátásának, értelmezésének módszerei, ezért a döntések, választások csak sokoldalú elemzések birtokában lehetnek helyesek.

A sorrendtervezés szintjén a geometriai feldolgozás feladata a méretláncok elemzése, a kész alkatrész és az előgyártmány közötti különbségek, azaz a gyártási igények meghatározása, a gyárthatóság vizsgálata. A felületcsoportokra értelmezett igények alapján történhet meg a gyártási eljárások kiválasztása, a bázisok és a befogási feltételek meghatározása, a

készülékek kiválasztása vagy tervezése, a gépek kiválasztása. A gyártási feladatok és a gépek technológiai lehetőségének birtokában nyílik mód a folyamat műveletekre való tagolására és a munkadarab műveletközi állapotainak meghatározására. Az optimális gyártási sorrend függ a berendezések sajátosságaitól, az aktuális gazdasági céltól. A szintet a legjobbnak ítélt sorrendtervi változatok szerkesztése zárja.

A művelettervezés is geometriai feldolgozással indul. Ebben a lépésben alakulnak át végessé a végtelennek definiált geometriai elemek, kiegészülnek a hiányos definíciók, majd kialakul egységes, kanonikus ábrázolásuk. Itt alakulnak ki a műveleten belüli közbenső munkadarab állapotok is. A gép lehetőségeinek ismeretében történik meg a műveletelemek és azok primer sorrendjének meghatározása, a ráhagyások elosztása, miközben generálódnak a szerszámválasztási igények és feltételek. Ezek alapján valósul meg a szerszámok, mérőeszközök választása, vagy tervezése, majd a szerszámok elrendezése a tárban és/vagy a revolverfejben. A műveletelemek végső, optimális sorrendje függ a szerszámelrendezési tervtől és apró módosításokat tesz szükségessé a műveletelemek ráhagyásain. A szint végeredménye a jól szerkesztett műveletterv.

A műveletelemek tervezése az optimális technológiai paraméterek számításával indul, mivel azok egyike - a fogásmélység - a szerszámpályákat is befolyásolja. A szerszámpályák részint üresjárat, részint megmunkálási mozgásciklusokat jelentenek. A pályagenerálás bizonyos esetekben többlépcsős, összetett feladat. Szoborszerű, nem analitikus felületek esetében először képezni kell a pontsorhoz, ponthálóhoz simán illeszkedő görbe felületet, majd a gép interpolációs lehetőségeinek, a szerszámok geometriai jellemzőinek figyelembevételével kell megtervezni a szerszámpályákat úgy, hogy a munkadarab pontosság az előírt tűrésen belül legyen.

Magasabbrendű optimumfeltételek (ütemidők betartása, szerszámkopások szinkronizálása, nyereségráta maximalizálása stb) esetében szükséges a technológiai adatok másodlagos optimalizálása.

A véglegesként elfogadott fogásmélység, előtolás és forgácso-lási sebesség ismeretében számíthatók a normaidők, a folya-matjellemzők (erő, teljesítmény, hőmérséklet, kopásintenzi-tás, rezgések stb) normális, deviáns és kritikus értékei, amelyek a folyamatfelügyelet, a diagnosztizálás és hibael-hárítás számára szükségesek, s állítható elő a folyamat matematikai modellje, ami viszont az esetleges adaptív irá-nyítórendszer működéséhez szükséges. A műveletelemek terve-zésének eredményeként készül el az egyezményes formában szerkesztett mozgásterv.

Az illesztőprogram (posztprocesszor) feladata konvertálási feladatokra korlátozódik, ha a processzor (a három felső szint) a fent leírtak szerint működik. Előállítja a vezérlés, a gépkezelő számára szükséges listákat, programhordozókat.

A fent részletezett tervezési folyamat természetesen csak azokra az esetekre igaz, amikor az ATTR valóban szintetizálja a megmunkálást. A részletes megoldási módokra még később vissza-térünk.

2.2. A keretrendszer

Funkcióinak részletes taglalása nem feladata e dolgozatnak. Az alkalmazó - akit mi is képviselünk - az elvárásokat fogal-mazza meg vele szemben a technológiai tervezés szükségleté-ből, sajátosságaiból kiindulva. Elvileg három megoldás kínál-kozik. Az első, az ATTR-k szemszögéből a legkevésbé hatékony megoldás a számítógép általános célú operációs rendszerének alkalmazását jelenti. Mi, nehézkessége miatt ezt a lehetősé-get mindig elvetettük.

A problémaorientált, vagy más néven második generációs ATTR-ekben speciális keretrendszereket alkalmaztak. Ezt tettük mi is a FORTAP esetében [92]. Az igények specifikálása alap-ján a monitort Kranczler Mária és Pál József fejlesztette ki. Előnye a rendkívül gyors működés, a kis terjedelem, hátránya a merevség.

A harmadik generációs rendszerek nyitottsága, bővíthetősége, az a cél, hogy a mindenkori alkalmazás függvényében optimális méretű, "testre szabott" ATTR-eket nyerhessünk, kötelező módon felvetette a moduláris felépítés következetes alkalmazását és általánosabb célú keretrendszer kidolgozását. A szerző irányításával készült el a KGST országok egységes NC programozási rendszerének specifikációja, amely tartalmazta a legfontosabb alkalmazói rendszerek teljesítőképességét, alkalmazási területét, funkcionális moduljaik készletét és a keretrendszer műszaki tervét [93]. A keretrendszert a rögzített elvek túlnyomó többségének betartásával Bródy Ferenc, Gyürki József és János József valósította meg [94]. Ma is számos hazai és külföldi ATTR-ben alkalmazzák.

Ismereteink szerint ez a monitorrendszer az egyetlen a világon, amely eléggé általános a technológiai tervezés feladatai szemszögéből, ugyanakkor megfelelően konkrét, gyors és hatékony is, ellentétben a teljesen univerzális keretrendszerekkel (ICES, ISzP stb). Sikerült megoldani a különböző rendeltetésű programmodulok tetszés szerinti horizontális és vertikális csatlakoztatását, megoldani az adatkezelés problémáját. Legnagyobb és leglátványosabb előnye mégis az, hogy segítségével tetszőleges mérnöki feladatleíró nyelvet lehet specifikálni és az általános input-dekód szegmenst annak fogadására aktualizálni. A köteget feldolgozásra kidolgozott monitor azóta interaktív üzemmódra is alkalmas lett. Máig is megoldatlan maradt azonban az a specifikációban rögzített cél, hogy a keretrendszer a konkrét tervezési feladathoz automatikusan generálja (kompilálja) az ATTR-t a könyvtárazott funkcionális modulkészlettől.

2.3. Modularitás, kompatibilitás

A modularitás a korszerű tervezőrendszerek alapvető ismérve, s egyúttal az egyetlen lehetőség arra, hogy bizonyos részfeladatokat csak egyszer kelljen megoldani és a megoldás sok különféle rendszerbe beépíthető legyen. Az elv alkalmazása három nagy problémát vet fel: az egyik a modulok fela-

datkörének optimális meghatározása, a másik a modulok összekapcsolása, a harmadik a modulok és az adatbázis között kapcsolat megteremtése.

A modulok funkcióinak specifikálására általános recept nem adható. Első megközelítésben minden részfeladathoz egy-egy modult rendelhetünk, azaz feltételezhetjük, hogy a rendszer vertikális struktúrájában minden tervezési lépést egy-egy modul reprezentál. A második lépésben valósítható meg lépcsőnként a modulok szükség szerinti horizontális bontása kisebbekre az éppen fejlesztendő konkrét rendszer, valamint a modul jövődő alkalmazásainak függvényében (2.2.ábra). A modularitás első következetes alkalmazását a FORTAP példázza [95], amelynek struktúrája az ábrából jól követhető. A feladat sikeres megoldását bizonyítja, hogy moduljainak többségét beépítették egy sor újabb rendszerbe is (KGST, BME-MHD, MINIFORTAP, GTIPROG, MICON stb).

A modulok csatlakoztatásának egyik feltétele a közbenső eredmények egyezményes formában való ábrázolása, a táblázatos és a szekvenciális belső nyelvek, azaz a csatlakozási felületek megfelelő kialakítása, a másik pedig az adatbázishoz való hozzáférés.

Moduláris rendszerek esetében a kompatibilitás két szempontból is felmerül. Az egyik - a tervezési szintek közötti illeszthetőség kérdése, amelyet a célszerűen egyezményesített közbenső nyelvek oldanak meg. A másik - a modulok egymás közötti kompatibilitása, ami viszont csak abban az esetben érhető el, ha gondoskodunk az alapadatokhoz való hozzáférésről, a rendszer által használt fogalmak általános és kimerítő, sőt redundáns definíciójáról, s ha a modulok be- és kimeneti felületeit a tervezett összes alkalmazás szükségleteinek figyelembevételével határozzuk meg. A fő probléma az egymáshoz vertikálisan csatlakozó modulok kapcsolása, különösen abban az esetben, ha a különböző alkalmazói rendszerekben bizonyos lépcsők, azaz modulok kimaradnak. A rekordokba irt kezdeti (default) értékek alkalmazása, végső esetben pedig "üres" modulok beiktatása átsegíthet minden nehézségen.

Nem tekinthető kielégítően megoldottnak a vezérlés és az adatkezelés problémája. A számítástudomány még adós a modulokból való automatikus rendszerépítkezés és az általános rendeltetésű adatkezelő rutinok megvalósításával. Feltehetően a mesterséges intelligencia módszereinek alkalmazása a közeli jövőben e téren is látványos eredményeket hoz.

2.4. Közbenső nyelvek

Az APT-szerű nyelvek két közbenső nyelvet specifikáltak és alkalmaztak. A CLDATA 1 a geometriai feldolgozás eredményeit ábrázolja, míg a CLDATA 2, azaz az ISO által is szabványosított CLDATA a szerszámmozgásokat írja le. Az utóbbi tehát nem más, mint az NC processzor és a posztprocesszor közötti közbenső nyelv. Előnyei közismertek. Ezek között a legfontosabb az általános alkalmazhatóság. Egyik hátránya az NC utasításrendszerrel való lényegi eltérés, ami megnehezíti a posztprocesszálas feladatát, a másik pedig az, hogy nem tartalmaz néhány fontos információt a szerszám mozgásáról és a teljes műveletről.

Kimutattuk, hogy az NC utasításrendszer mondatstruktúrájához közeli rekordstruktúra előnyösebb mind a CLDATA redaktálása, mind a posztprocesszálas szemszögéből, mint az APT által használt sok, különböző homogén rekord alkalmazása. A FORTAP-hoz Nagy Sándorral olyan mondatstruktúrájú közbenső nyelvet fejlesztettünk ki, amely felépítését tekintve az ISO NC utasításrendszer leképezése, s ezért belőle a vezérlő program végtelenül egyszerűen nyerhető. Ugyanakkor bármely rekordból kiolvasható, hogy az milyen műveletelemből képződött, milyen jellegű az aktuális elemi elmozdulás, milyenek a pozicionálás pontossági követelményei, hol tartózkodik a szerszám a gép munkaterében, a szerszámhoz és a mozgásirányhoz viszonyítva melyik oldalon van az éppen megmunkált felület stb [96]. A nyelv segítségével teljesértékű gyártási dokumentáció, kezelési utasítás állítható elő, amelyből nyomon követhető a megmunkálás menete és egyértelműen

megoldható a szerszámméret- és szerszámkopás korrekciójának igen kritikus problémája (2.1.Melléklet). A FORTAP közbenső nyelve tartalmaz a művelet egészére jellemző globális információkat is, ezért sosem merülhet fel az adatok többszöri feldolgozásának igénye a posztprocesszálas során.

A FORTAP rendszerrel szerzett tapasztalatok alapján javasoltuk az ISO CLDATA továbbfejlesztését [97]. Javaslatunk alapján született az új 4000 típusú rekord, amelyet szabványosítottak [98]. Rendeltetése, hogy egyértelműen leírja a szerző és a megmunkált felület kölcsönös helyzetét.

A KGST egységes NC programozási rendszer processzor-posztprocesszor közbenső nyelvét az APT és a FORTAP tapasztalatai alapján a magyar szakértők dolgozták ki a szerző irányításával [99]. A nemzetközi kompatibilitás érdekében az azóta szabványosított nyelv alapja az ISO CLDATA lett, kibővítve a 4000-es és más típusú rekordokkal is. A KGST nyelv tehát teljesebb, s ugyanakkor szigorúbb is, amennyiben nem engedi meg azonos célokra különböző rekordok alkalmazását.

A FORTAP vetette fel először a magasabb szintű közbenső nyelvek igényét, mivel az első olyan NC processzor volt (és maradt a mai napig), amely maradéktalanul végrehajtotta a művelettervezési és mozgástervezési szint feladatait. Napjainkban ezt az igényt támasztják az intelligens CNC vezérlések is. Lényegében két új közbenső nyelvről van szó: a sorrendterv és a műveletterv belső ábrázolásáról.

Újabban, a konstrukciós és a technológiai tervezőrendszerek közvetlen csatlakozása egy negyedik technológiai közbenső nyelv megalkotását sürgeti, amely a gyártási előterv ábrázolására szolgál. Ennek tartalmaznia kell a sorrendtervezéshez szükséges gazdasági, termelés-szervezési és technológiai adatokat.

Az ATTR-ek összesen öt egyezményes közbenső nyelvvel operálnak.

Az alkatrész (általános esetben a gyártmány) ábrázolására szolgáló közbenső nyelv a konstrukció és technológiai tervezőrendszerek csatlakozási felülete, azaz a majdani gyártási előtervező rendszer bemenete (2.3.ábra).

A gyártási előterveket leíró belső nyelv tartalmazza az előgyártmány leírását, a munkadarab szerelés előtti állapotának definícióját a technológiai méretláncokkal, a kiválasztott gyártórendszerek azonosítását, a gyártás tömegszerűségét és az aktuális gazdasági célfüggvényt. Tartalmilag tehát azonos a sorrendtervező rendszer bemenőnyelvével. Jellemző példaként a BME/GTI sorrendtervező rendszer [100, 101] és a TAUPROG szolgálhat.

A sorrendtervi közbenső nyelv írja le a munkadarab kezdeti és végállapotát egy-egy műveletre, a munkadarab helyzetét megmunkálás közben, tartalmazza a berendezés és a befogókészülék azonosítóját és az aktuális gazdasági célfüggvényt. Részletes kifejtése meghaladja e dolgozat kereteit. Egy lehetséges és sikeres realizálása a BME sorrendtervező rendszerben valósult meg.

A művelettervi közbenső nyelvnek ábrázolnia kell a műveletelemek típusait és a hozzájuk rendelt ráhagyásokat, a szerszámok azonosítóit és leírását, a szerszámelrendezést, a korrekciós kulcsok vagy mezők kiosztását, a technológiai adatok meghatározásához szükséges adatokat (pl.éresség). Fontos a környezeti feltételek, a szomszédos felületekhez való csatlakozás adatainak leírása is annak érdekében, hogy a szerszámmozgások ütközésmentesek legyenek és az időnként elengedhetetlenül szükséges kiegészítő mozgásokat tervezni lehessen. Jó példa erre a 2.4.ábrán látható beszúrás, amelyhez a saját adatok mellett meg kell adni az őt hordozó esetleges magasabbrendű beszúrás mélységét és az esetleg közvetlenül csatlakozó homlokfelülettől mért távolságot is. A peremfeltételek leírása szükséges a szerszámválasztáshoz (jelen esetben a késkinyúlás meghatározásához) és a műveletelemek sorrendi optimálásához is. A művelettervet ábrázoló

belső nyelv először a FORTAP-ban (2.1.Melléklet) realizálódott [102], de ma már az intelligens CNC-k is ezt az ábrázolási formát alkalmazzák.

A mozgásleíró közbenső nyelv újabban u.n. ciklusrekordokat is tartalmaz, amelyek lényegében nem mások, mint olyan egyszerű műveletelemek leíró rekordjai, amelyek a szerszámgépeken alprogramokként tömören programozhatók.

A fentiekben öt külön közbenső nyelvről irtunk. A valóságban, részint azért mert a tervezőrendszerek nem képesek minden feladatot automatikusan megoldani, részint pedig azért, hogy módot adjunk a technológusnak megoldások előírására is, a magasabbszintű közbenső nyelvek - hasonlóan a feladatleíró nyelvekhez - részhalmazokként tartalmazzák az alsóbbszintű nyelveket is.

2.5. Feladatleíró nyelvek és az ember-gép kapcsolat más eszközei

A kötegetelt feldolgozás csak nyelvi kapcsolatot tesz lehetővé az ember és a számítógép között. Nyelvként kell értelmeznünk az alapadatok egyezményes táblázatban megadott halmazát éppúgy, mint a valamely műszaki feladatra (pl. technológiai tervezésre) orientált rendszerek szigorú nyelvtani szabályok szerint alkalmazható, a valóságos emberi nyelvhez közelálló szabadformátumú szimbólikus nyelveit.

Célszerű éles határt szabni az egyedi, nem visszatérő jellegű műszaki feladatok és a nagyon sokszor ismétlődő tervezési feladatok számítógéppel segített megoldása köré. Az előbbiek nem bírják el, az utóbbiak viszont nem nélkülözhetik a mesterséges mérnöki feladatleíró nyelvet.

A technológiai tervezést a teljes automatizálás szemszögéből sokszor ismétlődő rutinmunkaként kezeljük, bár természetesen nincs két teljesen azonos feladat. Ilyen értelemben teljesen azonos a konstrukciós tervezéssel. Nyilvánvaló tehát, hogy nem nélkülözheti az egyezményes feladatleíró bemenő nyelvet.

A technológiai nyelvek fejlesztését az ismert APT nyelvre alapoztuk, amelyet egyszerű és bonyolult szerszámmozgások leírására dolgoztak ki. A továbbfejlesztés tartalmi kérdések mellett a szintaxisra és a nyelvgenerálás módszereire egyaránt kiterjedt.

Az APT nyelvnek (és rendszernek) már a szerszámmozgások tervezése szintjén is két komoly hibája volt. Az egyik, hogy a felületeket ideális geometriai fogalmakként kezelte, a másik pedig az, hogy nem ismert összetett, de technológiai szempontból egy egységként kezelendő felületcsoportokat. A FORTAP-ban először vezettük be a tűrés és az érdekesség fogalmát, azaz a geometriai elemeket technológiai attribútumokkal egészítettük ki. Ezzel vált lehetségessé a műveletelemek automatikus kiválasztása és a technológiai adatok számítása (az APT-ben ilyen képességek nincsenek). Bevezettük az alászúrás, a beszúrás és csúcsfészek fogalmát, egyszerűsítve ezzel az alkatrész leírását, a geometriai feldolgozást, a szerszámválasztást és a mozgástervezést egyaránt [22]. Ötvöztük a kötetlen formátum és a táblázatos alak előnyeit a művelet általános adatainak leírására. Ily módon állt elő első ízben a művelettervező processzor feladatléíró nyelve, amely könnyen elsajátítható és használható, tömör és a számítógép által is könnyen feldolgozható. Ugyanakkor azonban - más problémaorientált rendszerekhez hasonlóan - nehezen bővíthető, módosítható nyelvet, rendszert kaptunk (2.1.Melléklet).

Új úton indultunk el az egységes KGST NC programozási rendszer fejlesztésekor. Abból az igényből kiindulva, hogy feladatléíró nyelve minden országban a nemzeti nyelvhez (és jelkészlethez) alkalmazkodhassék, valamint attól a céltől vezérelve, hogy a tervezőrendszer és a nyelv tartalmilag is könnyen módosítható legyen megteremtettük a feladatléíró nyelvek generálásának általános eszköztárát (2.5.ábra). Ennek első eleme a definíciós nyelv, amelynek segítségével tetszőleges tartalmú és szintaxisú leíró nyelvet fogalmazhatunk meg. Második eleme a nyelvgenerátor, amely az általános input-dekód modult (egy-

ben az eszköztár harmadik elemét) felkészíti az éppen definiált nyelv fogadására. Az egységes NC programozási rendszer mellett ezt az általános eszközt más ATR-ek is (pl. a BME-GTI sorrendtervező rendszer) alkalmazzák.

A nyelvgenerálás új módszerét is feltételezve dolgoztuk ki a KGST országok egységes NC programozási rendszerének bemenő nyelvét [103], majd az ESzR AMT rendszer bemenő nyelvének alapjait is [104].

A feladatleíró nyelv - legalábbis referenciaszinten - ma is minden rendszernek kötelező része, de megjelentek az ember-gép kapcsolat más eszközei is, amelyek sokszor gyorsabbak, hatékonyabbak a nyelvi kapcsolatnál. Közös jellemzőjük a párbeszéd, amelyet általában a számítógép irányít. Ez lehet alfanumerikus és grafikus (sőt élőbeszéd is), alkalmazhatja mind a "kemény", mind "lágyszavak" (soft-key) technikáját. A technológus általában menüből választ, igennel vagy nemmel és számszerű adatokkal válaszol a kérdésekre. Előnye a módszernek, hogy az alkalmazónak nem kell szükségszerűen ismernie a feladatleíró nyelvet, kevesebb adatot kell megadnia, így szükségszerűen kevesebb hibát is vét, s az alapadatok azonnal a rendszer belső nyelvén állhatnak elő. Hátránya viszont, hogy - különösen sok fogalommal operáló nagy ATR-ek esetében - a gyakorlott, a nyelvet jól ismerő technológust lassítja a rendszerint fastruktúrájú dialógusgráfon való keresgélés folyamata.

Ilyen párbeszédes üzemmódot alkalmazunk a mikrogépes NC programozási rendszerekben, az új generációs intelligens CNC-ben. Ez utóbbiban megvalósítottuk a grafikus lágyszavak technikát is.

Ideálisnak azt a rendszert tekinthetjük, amely lehetővé teszi a kommunikáció több üzemmódját is, ha tehát tetszőlegesen válthatjuk a nyelvi és a párbeszédes kapcsolatot a felhasználó ismereteinek, sőt pillanatnyi hangulatának függvényében is. Ez a lehetőség persze bonyolítja és duzzasztja,

tehát drágítja is az ATTR-t.

2.6. Adat- és tudásbázis

Az első tervezőrendszerek (pl. az APT is) lényegében fordítóprogramok voltak, amelyek a tömören, az ember számára kényelmes alakban írott alapadatokat részletesen kifejtették és konvertálták a vezérlés (pl. NC) nyelvére. Ilyen rendszereknek nem volt szükségük adatbázisra.

A technológiai adatok automatikus meghatározásával vált szükségessé az anyagra, szerszámra, gépre vonatkozó állandó adatok tárolása. A művelettervezés automatizálásával egy sor technológiai állandóra és újabb gép-, szerszámadatokra lett szükség. A sorrendtervezés vetette fel a gyártórendszer jellemző fontosabb adatok alkalmazásának igényét.

A második és harmadik generációs generatív elvű rendszereknek - mivel a tudást a programba vitték - "csak" adatbázisuk van, azaz csak tényszerű adatokat tárolnak. Ezek ábrázolása sem egyszerű, hiszen meg kell alkotni a folyamat, az anyag, a szerszám, a gép, a gyártórendszer általánosított modelljét (erről később még szó lesz) ahhoz, hogy jól használható adatbázist kapjunk.

Ilyen általánosított modellekre támaszkodik a FORTAP rendszer anyag-, szerszám-, gép- és technológiai adatbázisa, amelynek nincs tudományos előzménye (hacsak nem tekintjük annak az EXAPT rendszer rosszul sikerült kártyarendszerét). A FORTAP [105] szolgált e tekintetben is a KGST rendszer alapjául [106].

A BME-GTI sorrendtervező rendszerben alkottuk meg a gyártórendszer funkcionális-topológiai modelljét, [107] amely jól szolgálja a tervezést és egyúttal kiváló csatlakozási felületet jelent a termelésirányítás magasabb szintjeihez.

A félgeneratív elvű rendszerekben (pl. BME-GTI sorrendtervező) jelenik meg először külön a tudásbázis, azzal, hogy az eljárásokra, alkalmazásaik sajátosságaira, a gyártás

sorrendiségére vonatkozó ismereteinket kiemeltük a programból és átvittük az adatbázisba. Ott tehát döntési táblák, táblázatos algoritmusok, esetleg programok formájában megjelenik a technológiai tudás, a döntés, a választás képessége is. Ilyen módon jutottunk el ahhoz, hogy maga a tervezőprogram majdnem teljesen általánossá vált [108]. Jól példázzák a módszert a felületek és az alkatrész állapot táblái, amelyek a felületek és munkadarab állapotváltozásaihoz megmunkálásokat rendelnek egy lehetséges sorrendben, valamint a precedencia mátrix, amely az ábrázolt sorrendiségtől való lehetséges eltéréseket tartalmazza későbbi optimálás céljaira.

A tudásbázis alkalmazásának (és a félgeneratív elvnek) roppant előnye, hogy a tervezőrendszert újabb alkatrészcsaládra, más gyártási környezetre a program változtatása nélkül, az adat- és tudásbázis részleges cseréjével, módosításával adaptálni tudjuk.

Az általános problémamegoldó módszerek (mesterséges intelligencia) alkalmazása új helyzetet teremtett. Mivel lehetővé váltak a tudásreprezentáció új módszerei, az általános alkalmazhatóság elvének megsértése nélkül vissza tudjuk vinni a programba a környezettől független, általános érvényű tudást, megtartva a csak speciális környezetre jellemző tudást a bázisban [109]. Az új, ötödik generációs rendszerekben tehát a technológiai tudás szétdiffundál: míg a második és harmadik generációt a tiszta "tudásalgoritmus", a negyedik generációt (félgeneratív elv) a tiszta "tudásbázis" jellemezte, ma a tudás elemei mind a programban, mind a bázisban megtalálhatók, miközben a rendszer két eleme között a határok egyre inkább elmosódnak.

Az automatizált technológiai tervezőrendszerek kutatása-fejlesztése terén szerzett tapasztalatok alapján fogalmazta meg a szerző a vállalati és országos technológiai információs rendszerek (VTIR, OTIR) tervét [119] olyan igénnyel, hogy azok a kézi és az automatizált tervezés minden szintjét szolgálják.

2.7. Az automatizált tervezés üzemmódjai

Ma mindenki az interaktív üzemmódra esküszik és a kötegelt üzemmódot szapulja. Ezzel az állásponttal nem lehet egyetérteni, mert a technológiai tervezésben mindkét üzemmódnak helye van.

A kérdést két aspektusból kell vizsgálni, más ugyanis a feladat megfogalmazása, azaz a tervezés alapadatainak összeállítása és megint más a feladat megoldása.

Az alapadatok összeállításában egyértelműen az interaktivitás hívei vagyunk, különösen ha a rendszer elemi szemantikai és szintaxis ellenőrzési feladatokat is ellát.

A feladatmegoldásban a kötegelt (determinisztikus) működésre törekszünk, hiszen a nagy rendszerek sokszor hosszú ideig futnak, s gyakran nincs is technológus elérhető közelségben. A modellezési, döntési, választási és optimálási módszerek fejlődésével egyre több olyan feladatot is meg tudunk oldani, amelyet korábban a technológus feladatának tekintettünk. Említettük már, hogy a gyártás egyre magasabb szintű automatizálása is kikényszeríti a tervezés teljes automatizálását is, hiszen az integrált gyártórendszerekben, vagy a felügyelet nélküli gyártásban állandóan felmerül a folyamatok részleges újratervezésének szükségessége. Az más kérdés, hogy egyelőre még nem minden feladatot formalizáltunk és hogy a tervezés fontos csomópontjaiban lehetőséget kell nyújtani az ellenőrzésre, a közbeni eredmények módosítására. Szükség van és szükség lesz tehát a jövőben is az interaktivitásra. Ideálisnak a ciklikusan interaktív üzemmódot tekinthetjük, amely azt jelenti, hogy a rendszer minden feladatot képes automatikusan megoldani, de a fontosabb tervezési szintek, csomópontok után dialógust kezdeményez a tervezővel. Az interaktivitás szempontjából legfontosabb csomópontok a technológiai tervezésben az alapadatok ellenőrzése, az eljárások, gépek, készülékek és szerszámok választása, a sorrend-, a művelet- és a műveletelemterv, valamint a szerszámelrendezés meghatározása.

2.8. Az automatizált technológiai tervezés helye és ideje

A gyártás tervezését és irányítását ma már egyre inkább elosztott intelligenciájú rendszerek végzik, jogos tehát a kérdés, hogy a technológiai folyamatok tervezését a rendszerek mely elemei végezzék és mikor végezzék a gyártás időpontjához képest.

A kérdés megválaszolásához tisztázni kell a technológiai tervezés másodlagos funkcióit. A folyamatirányításhoz szükséges adatok, programok, információk mellett a technológiai tervezés igen fontos idő- és költségadatokat szolgáltat a termelésirányításnak is. Nyilvánvaló, hogy a termelés ütemezése, programozása lehetetlen a gyártásra, a műveletekre vonatkozó idő- és költségadatok nélkül, s az is természetes, hogy a termelést tervezni kell térben, időben is. Következésképpen, a technológiai tervezés a gyártáshoz és a termelésirányításhoz képest előidejű tevékenység legalábbis addig a mélységig, ameddig a termelésirányításhoz szükséges adatokat elő nem állítja. A további tervezés - intelligens folyamatirányítási eszközök birtokában - folyhat akár a gyártással egyidejűleg is. A valósidejű mozgástervezésre, művelettervezésre ma már a legjobb intelligens CNC-k jórészt alkalmasak. Elképzelhető az is, hogy a rendszerszintű folyamatirányítást végző DNC gépek a gyártási sorrendet is valós időben tervezik. Fontos azonban, hogy a gyártás, az egyes műveletek idejéről, költségéről korábban legyenek adataink.

A normaadatok birtokában a tervezés helye tehát kevésbé fontos kérdés, amelyet az éppen rendelkezésre álló eszközök tulajdonságai határoznak meg. Ez természetesen csak az automatizált tervezésre igaz. Tévedésnek, sőt hibának tartjuk ezért a kizárólagos kézi adatbevitelt a CNC-kbe (szerencsére múltfélben van), mert a kézi tervezést levitte a géphez, sőt értékes gépidőt foglalt le. Fontos viszont a programok helyi javításának, módosításának, editálásának lehetősége.

2.9. A technológiai tervezés kapcsolata más rendszerekkel

A technológiai tervezés teremt kapcsolatot a konstrukció és a gyártás, valamint a termelésirányítás és a gyártás között. (2.6.ábra) A konstrukciós tervezéssel és a termelésirányítással különösen bonyolult kölcsönhatásban van.

A konstrukciós tervezéshez a geometriai modellezés, a közös geometriai nyelv segítségével közvetlenül csatlakozik. A konstrukció műszaki értelemben egyértelműen meghatározza a technológiai tervezési feladatot. Ugyanakkor a technológia is hat a konstrukcióra. E hatás mértékében és módjában különféle nézetek uralkodnak.

Egyes nézetek szerint a technológiai tervezésnek közvetlenül is javítania kell a konstrukciót. Mi ezt irreálisnak és helytelen követelménynek tekintjük. A gyártáshelyességnek érvényesülnie kell a gyártmánytervezés közben, s ezért fontos, hogy a konstruktőrnek alapos technológiai ismeretei legyenek. A technológiai tervezéstől, s így az ATTR-től is csak annyit szabad elvárni, hogy a gyárthatóságot ellenőrizze s ha a gyártáshelyesség ellen a gyártmánytervezés során vétettek, akkor a gyártmányt utalja vissza konstrukciós módosításra. Ebben a szellemben készült a FORTAP rendszer és a BME sorrendtervező rendszer is. Rendszerteknikai tévedés lenne beépíteni a konstrukció javítását az ATTR-be, hiszen a gyártáshelyesség csak egy a sok fontos szempont között a gyártmány tervezése során, a teljes konstrukciós tervezés viszont nem lehet része az ATTR-nek.

A termelésirányítás magasabb szintjei szolgáltatják a technológiai tervezés gazdasági információit (tömegszerűség, sorozatnagyság, célfüggvény), határozzák meg a rendelkezésre álló erőforrásokat (gyártórendszer, gép stb.), a technológiai tervezés viszont fontos adatokat szolgáltat a termelésirányítás magasabb és alacsonyabb szintjei (ütemezés, programozás) számára. A csatlakozás ily módon nem lehetséges egyetlen felületen.

Az első fontos csatlakozási pont a technológiai előtervezés szintjén jelenik meg. A technológiai előtervezés a termelés-irányítás szolgáltatotta tömegszerűség, terhelési adatok és célfüggvény alapján választja ki az alkalmas gyártórendszereket (gépcsoportot, zárt ciklust stb) és dönt az elegendő szabad kapacitással rendelkező legalkalmasabb mellett. Ma még nincsenek automatizált technológiai előtervező rendszerek. Ha majd ilyen előtervező rendszereket kifejlesztene, akkor ezek igen hasznos elemei lehetnek az olyan "gyártáblák" (mátrixok) amelyek a technológiai képességeket a gyártórendszer azonosítókkal rendelik össze és a gyártórendszerek különböző célfüggvények szerinti jósági fokait is feltüntetik. A "technológiai képesség" itt komplex fogalom, amely egy-egy gyártórendszer alkalmasságát tükrözi valamely homogén alkatrészhalmoz (pl. közepes méretű szekrényes alkatrészek) teljes megmunkálására. A "gyártábla" megkönnyíti a gyártórendszer kiválasztását és egyúttal kényelmes, koncentrált csatlakozási felület, amelyen keresztül a termelésirányítás közvetítheti a gyártórendszerek állapotának változásait (szabad, túlterhelt, működésképtelen stb) a technológiai tervezés felé.

Hasonló célokat szolgál - sikeresen - a sorrendtervezés szintjén a gyártórendszer tábla (mátrix), amely a gyártórendszerben megvalósítható megmunkálásokat és a gyártóberendezéseket rendeli össze. A megmunkálás értelmezése természetesen ezekben szűkebb az általánosnál, amennyiben tartalmazza a legfontosabb minőségi jellemzőket, méretadatokat és peremfeltételeket is (pl. nagy pontosságú, kisméretű furatok előállítása méretes szerszámokkal, közepes méretű szekrényes alkatrészek). A tábla egyetlen csatlakozási felületként kiváló lehetőséget nyújt a termelésirányításnak az egyes berendezések letiltására, felszabadítására terhelésük és műszaki állapotuk függvényében. Lehetőség van - természetesen a gyártábla esetében is - üzemzavarok szimulálására s így különböző kerülő megoldások, technológiai változatok generálására is. A gyártórendszer táblát sikeresen kipróbáltuk a BME sorrendtervező rendszerben és az annak mintájára készült GTI rend-

szerekben is. Ismereteink szerint más sorrendtervező rendszereknek nincs átfogó dinamikus képük az aktuális gyártórendszeréről.

Cvetkov azt javasolja, hogy a technológiai tervezés kísérje figyelemmel a berendezések terhelés-kapacitás állapotát is [78]. Ez két okból is hibás elképzelés. Egyrészt ugyanarra a gyártórendszerre több helyen és több módon is terveznek gyártást, ezért egy technológiai tervezőrendszer képtelen a terhelések összegezésére, másrészt a technológiai tervezés sosem egy meghatározott időszakra irányul, amelyen belül ismeretek lehetnek a gyártórendszerben együtt futó gyártmányok. Egy-egy gyártórendszerben különböző időpontokban különböző gyártmányféleségek vannak munkában, sőt az azonos gyártmányok prioritási szintjei, a gyártásuk gazdaságosságának kritériumai is változnak. Ezért Cvetkov javaslata csak abban az esetben fogadható el, ha a tervezés koncentráltan, egy rendszerben folyik és a tervezést minden időszakra (pl. dekád, műszak) megismételjük. Ezek ma irreális feltételek s a fejlődés nem a funkciók centralizálása, hanem dekoncentrációja, autonóm rendszerek bonyolult, de intelligens kooperációja irányába halad. E szempontból is kedvezőbbek, s a céloknak is jobban megfelelnek a koncentrált, könnyen kezelhető, karbantartható csatlakozási felületek.

A sorrendtervezés szintjén a termelésirányítás a gyártás ütemességére vonatkozóan is adhat a tervezést befolyásoló utasításokat. Előírhatja a kívánt ütemidőt, amelyet a technológiai tervezés a maximális méretű műveletek darabolásával tud megközelíteni. A művelet dekoncentrációja egyéb azonos feltételek mellett mindig költség- és időnövekedést eredményez (több készülék, több be- és kifogás), ezért általában helyesebb megőrizni a nagyobb méretű műveleteket és párhuzamos megmunkáló állomásokat beiktatni (ez viszont már a termelésirányítás dolga). Kivételt csupán a merev ütemű gyártósorok képeznek, amelyekben viszont a sokszerszamos megmunkálás és a műveletelemek átfedése bőségesen kompenzálja a dekoncentráció okozta veszteségeket.

A művelettervezés a legkevésbé érzékeny tervezési szint a termelésirányítással szemben. A legtöbb esetben nincs is szükség befolyásolására. Csak nagyon kritikus esetekben tilthat le a termelésirányítás különleges gyártóeszközöket (drága egyedi szerszám stb.). Általában azonban jogos az a feltételezés, hogy a gyártáshoz szükséges eszközök hiánytalanul rendelkezésre állnak. Gyakran előfordul persze, hogy azokat alkalmazásra összeépített állapotban a művelettervező rendszer adatbázisa nem tartalmazza. Ilyen esetek miatt szükséges a művelettervező és a szerszámtervező rendszer integrálása.

A műveletelemek tervezése ismét nagyon érzékeny a termelésirányítás igényeire, mivel a technológiai adatok megválasztásával közvetlenül szolgálhatók alap- és magasszintű optimumfeltételek. A Somló-féle elsődleges és másodlagos optimálás, az új felülbírási elv és az optimáló adaptív irányítás közvetlen kapcsolatot teremthet akár a termelésirányítás legmagasabb szintjeihez is, ha a technológiai tervezés megkapja a célfüggvényt és az esetleges magasabbszintű korlátozó feltételeket (ütemidő, szerszámkopás stb.).

2.10. Integrált rendszerek

A rendszerek integrációjáról vertikális és horizontális irányban egyaránt beszélhetünk. A vertikális integráció lényegében nem más, mint egy homogén tervezési feladat különböző szintjeinek összekapcsolása. Ebben az értelemben az alkatrészgyártás előtervezésének, sorrend-, művelet- és műveletelem tervezésének összekapcsolása révén is integrált rendszert kapunk. Jó példa erre a FORTAP és a TAUPROG. Az első a művelettervezést és a műveletelem tervezést integrálja, a második az előbbieket mellett a sorrendtervezést is.

A horizontális integráció legjellegzetesebb esete a különböző gyártási folyamatok tervezésének összekapcsolása. Az előgyártás, az alkatrészgyártás és a szerelés integrációja mellett a mérési, anyagmozgatási, alkatrészkezelési, raktározási, diagnosztikai-felügyeleti folyamatok tervezésének összekapcsolása jelenleg a legaktuálisabb.

A horizontális integráció bővülését eredményezi a gyártmány-tervezés, a gyártórendszer tervezés, a technológiai tervezés, a termelésirányítás és a folyamatirányítás összekapcsolása, azaz integrált tervező - gyártó - ellenőrző (TGE) rendszerek, vagy általánosabban fogalmazva integrált anyag- és adatfeldolgozó (IAAR) rendszerek építése.

Az integráció bizonyos esetekben nem okoz elvi nehézségeket még meglevő komponensek összeépítésekor sem. A kompatibilitási problémák adatkonverzióval gyakran megoldhatók. Sajnos, az integráció gyakran felveti a kész alrendszerek átalakításának igényét is, mivel olyan információkra is szükség van, amelyeket képeztek ugyan, de elfelejtettek, vagy amelyeket korábban nem is képeztek, esetleg amelyek szolgáltatására nem is képesek. Vizsgáljuk meg például a technológiai tervezőrendszert a felügyelet nélküli megmunkálás szemszögéből. Jelenleg az csak a szerszámgép vezérléséhez szükséges adatokat szolgáltatja. Az automatikus felügyelethez viszont szükség van a folyamatjellemzők normális, deviáns és kritikus értékeire is. Néhány jellemző (erő, teljesítmény, nyomaték, kopás stb) normális (várható) értékét az igényesebb rendszer számítja, de nem őrzi meg. Egyáltalán nem is foglalkozik viszont a deviáns és kritikus állapotok meghatározásával. Mindezeket viszont most szolgáltatnia kell a felügyeleti rendszer számára mint referencia adatokat még akkor is, ha az tanuló sajátosságokkal rendelkezik. Egészen új feladatok is megjelennek, amelyekkel nem csak a technológiai tervezőrendszer, hanem a klasszikus forgácsolásmélet sem foglalkozott. Ilyen feladat pl. a rezgések, a folyamat instabilitásának megelőzése.

Új feladatokat jelent a robotos alkatrészkezelés is. A megmunkálás tervezésének kell szolgáltatnia a munkadarab műveletközi állapotait, feltüntetve a megfogásra alkalmas felületeket is, hogy megvalósulhasson a robotok automatikus programozása. Feltehetően szolgáltatnia kell a műveleten belüli közbenső állapotokat is, hogy a robot üzemzavar ese-

tében a művelet megszakításakor is elvégezhesse a szükséges manipulációs műveleteket. Az alakfelismerés sikerei biztatóak, de bizonyos ideig szükségük lesz még ilyen alapadatokra a legintelligensebb robotoknak is.

Az integráció tehát legtöbb esetben a meglévő rendszerek tartalmi átalakítását, új szolgáltatások kifejlesztését feltételezi. Ezek jelentik a legnagyobb problémát és nem a megfelelő keretrendszer, amit annyira hiányolnak. Annál is inkább, mert az integráció valószínűleg nem egy-egy óriási rendszerben, hanem kooperatív rendszerekben fejlődik tovább.

3. TÁRGYAK, RENDSZEREK ÉS FOLYAMATOK MODELLEZÉSE

A technológiai folyamatok automatizált tervezésének egyik kulcsproblémája a modellezés. A probléma oka a feladat újszerűsége és bonyolultsága. A hagyományos, "kézi" tervezés ugyanis egyáltalán nem használt modelleket, vagy csak a számítógépes tervezésre alkalmatlan, nagyon egyszerű modelleket alkalmazott. A tervezés a tapasztalatokra, rokonjellegű előzményekre, intuicióra, bevált receptekre épült, ezért a folyamatok és az aktuális objektumok (munkadarab, szerszám, gép stb) általánosított modelljeinek igénye sem merült fel, vagy ha fel is merült számítás, méretezés céljaira, alkalmazása olyan nagy mennyiségű számítást feltételezett, hogy számítástechnika hiányában meg sem kísérelhettük alkalmazásukat.

A gyártási folyamatok, valamint a gyártás tárgyát képező és a gyártást megvalósító objektumok (tárgyak, rendszerek) modellezése tehát igényként és eredményként egyaránt az automatizált tervezés terméke.

A modellek alkalmazása bármilyen tervezési elv esetében szükségszerű. Érvényes ez a megállapítás a variánselvre is, annak ellenére, hogy az inkább megkerüli, mint megoldja a tervezés automatizálását. A komplex alkatrész és a parametrikus formában leírt mozgásterv is egyaránt modell.

A technológiai tervezésben matematikai (geometriai, mechanikai stb), funkcionális és topológiai modellekre egyaránt szükség van. Általános esetként foghatjuk fel, hogy ugyanazon folyamat vagy objektum mindhárom típusú modelljét alkalmazzuk, sőt az azonos típusú (pl.geometriai) modellek is összetettek, hierarchikus felépítésűek. Az aktuális tervezési részfeladat szabja meg, hogy a hierarchikus modell mely szintjét kell alkalmaznunk. Jó példa erre a munkadarab geometriai modellje.

A matematikai modell a számítási, méretezési és optimálási, míg a funkcionális és topológiai modell a választási, döntési, rendezési és illesztési feladatok megoldásának eszköze. A modellek általánossága a tervezett alkalmazások, valamint a

hatékonyság és a bonyolultság függvényében mindig megfontolás tárgyát képezi. Az általánosítás során igen gyakran alkalmaz-
zák az olyan állatorvosi tanló módszerét, amely mindenféle,
akár egymást kölcsönösen kizáró betegségben szenved.

A következőkben néhány fontos modellezési feladat megoldási
lehetőségeit mutatjuk be.

3.1. A munkadarab modellje

A munkadarab - amelynek mérete, alakja, mechanikai tulajdonsá-
gai, helyzete stb. a megmunkálás során állandóan változik - a
modellezés egyik legfontosabb tárgya - mind a matematikai,
mind a funkcionális és topológiai modellek szemszögéből. Topo-
lógiai modellként foghatjuk fel a típus- és csoporttechnológia
alkalmazásához kidolgozott alkatrészosztályozási rendszer
segítségével összeállított kódot. Funkcionális modelljére a
konstrukciós tervezés és a szerelés területén van elsősorban
szükség. A munkadarab mechanikai modellje - mint az MKGS-rend-
szer modelljének egyik eleme - a technológiai paraméterek
számításakor játszik fontos szerepet. A tervezés és a gyártás
szemszögéből a legfontosabb a munkadarab adekvát geometriai
reprezentációja. Itt most csak az utóbbi modell tárgyalására
van lehetőség.

A geometriai modellezés az utóbbi két évtizedben önálló tudo-
mánygá fejlődött. Sajnálatos módon kezdettől fogva elsősor-
ban a konstrukciót szolgálta és szinte következetesen elhanya-
golta a technológiai tervezés igényeit. Ezt jól tükrözi az a
körülmény, hogy a modellező rendszerek általában ideális hely-
zetű, méretű és alakú geometriai elemeket tárgyalnak. A gyár-
tás és tervezése szempontjából meghatározó jellegű technológiai
attributumok (tűrések, a felületi réteg jellemzői, méretláncok
stb) a modellek többségében helyet sem kapnak.

A geometriai modellező rendszerek alapjait a már említett APT
rendszer teremtette meg. A mozgások tervezését szolgálta első-
sorban, de szintaxisát átvették a magasabbszintű modellezés
rendszerei is. Sem az APT, sem közvetlen származékai nem léptek

túl az elemi felületeken és azok ideálisként való kezelésén (EXAPT, NELAPT, FAPT stb), bár később a bonyolult, nem analitikus, u.n. szoborszerű felületeket is lefedték (APT-SSX, OKISURF stb).

A párhuzamosan fejlődő, és főként a konstrukciós tervezést szolgáló volumetrikus modellező rendszerek (BUILD, PADL stb) teljesen elszakadtak az alacsonyabb geometriai szintektől. Az APT-szerű geometria és a volumetrikus modellezés közötti szakadék a két iskolát egymás kölcsönös tagadására készítette. Az egyik tagadta az építkezést, a másik pedig az elemi felületeket, köztük a bonyolultakat is.

E szakadék felszámolására javasolta a szerző az u.n. translációs felületek alkalmazását [70]. A gondolatot az öntés és a süllyesztékes kovácsolás ama jellegzetessége sugallta, hogy az oldalfalak állandó dőlésszögben (öntési, kovácsolási kúp) csatlakoznak az osztási síkhoz. A translációs felület leg-egyszerűbben úgy keletkezik, hogy valamely z_0 síkban fekvő nyitott vagy zárt

$$D = D(x, y, z_0)$$

direktrixgörbe mentén önmagával párhuzamosan eltolnak egy G egyenes szakaszt, amelyet generátornak (generatrix) nevezünk. Az így képződő általános hengerfelület (3.1.a ábra) könnyen kezelhető mind a definíció, mind a mozgástervezés során. A translációs felület fogalmát a szerző javasolta kiterjeszteni azokra az esetekre is, amikor a generátor nem egyenes, hanem körívekből és egyenes szakaszokból álló nyitott görbe és mozgás közben nem hengeralkotóként, hanem kúpalkotóként (3.1.b ábra), vagy valamely más, meghatározott módon viselkedik (3.1.c ábra). Ésszerűnek látszott az olyan "szabályos" felületeket is, mint a kocka (3.1.d ábra), vagy a gömb (3.1.e ábra) translációs felületként kezelni az egységes belső ábrázolás kedvéért. Abban a speciális esetben, ha a direktrix zárt görbe, a képződő felület lehet felülről és alulról is nyitott vagy zárt (3.1.f). A fenék- és fedősíkkal kiegészítve az összetett translációs felület ideális építőkockájává vált a volumetrikus modellezésnek. A belső ábrázolás

és a feldolgozás egyszerűsége mellett roppant előny az a lehetőség, hogy az építőköcka minden eleméhez könnyen technológiai attribútumokat rendelhetünk, valamint az a körülmény, hogy nyelvi megfogalmazása is roppant egyszerű. A KGST országok 3KT NC programozási rendszerében, valamint a BME FAUN rendszerében a translációs felületek gyakorlati alkalmazása is realizálódott. Vizsgálataink kimutatták, hogy alkalmazási területe rendkívül széles.

A bonyolult felületek másik fajtát, az u.n. vonalfelületeket kiterjedten alkalmazzák az áramlástechnikai felületek leírására. Úgy képződnek, hogy egy egyenes - a G generátor - meghatározott módon mozog a

$$\begin{aligned} D_1 &= D_1(x, y, z) \text{ és a} \\ D_2 &= D_2(x, y, z) \end{aligned}$$

direktrixek mentén. Két alesetet különböztetünk meg a generátor viselkedésétől függően. Egyik esetben (3.2.a ábra) ki-tüntetjük az egyik direktrixet, amelyhez képest a generátor meghatározott módon viselkedik, míg a másik direktrixre csak "támaszkodik". A másik esetben a generátor mozgását az u.n. ívparaméter szabályozza mindkét direktrixen (3.2.b ábra) és így mozgása mindkettőn "egyenletes" lesz. Mindkét vonalfelület fajtát feldolgozza a FAUN rendszer.

Szükség volt, különösen a speciális folyató- és húzószerszámok leírása céljából egy újabb, a geometria által nem tárgyalt felület bevezetésére. Jobb híjján nevezhetjük általánosított vonalfelületnek, amelynek jellemzője, hogy a generátor nem egyenes, hanem a mozgás közben állandóan változó görbe. Mozgását az i ívparaméter szabályozza. A felület leképezésére szolgáló három görbe a

$$\begin{aligned} D_1 &= D_1(x, y, z), \\ D_2 &= D_2(x, y, z), \\ G &= G(G_0, i, t) \end{aligned}$$

általános alakban írható, ahol az i paraméter mindkét direktrixen együtt növekszik nullától egyig, a t paraméter pedig a D_1 görbének az i paraméter által meghatározott pontja és a D_2 görbe megfelelő pontja között változik nulla és egy között. A G_0 a generátorgörbe leírása valamely rögzített i érték melletti speciális helyzetben (3.3 ábra). A felület leírására és pontjainak meghatározására mutat be példát a 3.1. Melléklet. Az általánosított vonalfelületet a FAUN rendszerben szintén felhasználjuk.

Az általános translációs felületek, a vonalfelületek, az általánosított vonalfelületek és a sokféle matematikai apparátussal is jól kezelhető szoborfelületek együttesen a bonyolult felületek olyan készletét szolgáltatják, amellyel bármely alkatrész bármely elemi felülete jól leírható. A BME FAUN rendszerében mindeme felülettypusok helyet kaptak.

A geometriai modellezés nagy problémája a felületekből és testekből való építkezés, magasabbrendű geometriai egységek létrehozása. Említettük már, hogy az APT és származékai e kérdéskört nem is érintették, a volumetrikus modellek pedig átugorják a felületek szintjét és testekből, de csak egyszerű testekből építkeznek. Az u.n. drótvázás modellek (pl. MODBUILD) ugyan felületeket feszítenek a vázra, de rendkívül nehézkesek az építkezés szemszögéből.

A szerző két területen fejlesztette tovább a modellépítést. Egyrészt javasolta kiaknázni a gyártás, elsősorban a forgácsoló megmunkálás sajátosságait, másrészt pedig javaslatot tett a volumetrikus modellezés általános építőelemeinek alkalmazására.

Az első javaslat, amely először a FORTAP-ban realizálódott, egyrészt arra épül, hogy a konstrukcióban és a gyártásban állandósultak bizonyos felületkombinációk, másrészt pedig arra, hogy szigorú összhang van a felületek egymásra épülése és a gyártás sorrendisége között. Állandósult felületcsoportként s ilymódon összetett geometriai egységként kezelhetők a különféle beszúrások, alászúrások, csúcsfészkek, csa-

varfelületek. Ezek egyúttal az alkatrész jellegét meghatározó elsődleges felületeken fekvő másodlagos felületek. Célszerű tehát kihasználni az - általában többszintű - felületi hierarchiát az alkatrész leírására, mert az egyszerűsíti a geometriai modellt, az alkatrész leírását és a tervezés automatizálását is (3.4.ábra). A felületek hierarchiája, az első- másod- és harmadrendű felületek konzekvens alkalmazása és a technológiai egységet képező felületcsoportok geometriai egységekként való kezelése áthatja a FORTAP nyelvet és rendszert. A módszert átvette több hazai rendszer és a KGST NC programozási rendszere is.

További lépést jelentett forgásfelületek esetében az olyan általánosított "lépcső" fogalmának bevezetése és alkalmazása (3.5.ábra), amelyen élettörés, lekerekítés, alászúrás, beszúrás, menet, esetleg fogazat is van. Ez a "tanló" elvét alkalmazó geometriai egység párbeszédés alkatrészprogramozás esetén teszi lehetővé az alkatrész tömör és gyors leírását. A MICON rendszerben alkalmazzuk.

Az építkezés matematikai műveleteinek leírására a fent tárgyalt két, speciálisnak tekinthető esetben nem volt szükség, s hiányuk ellenére a geometriai leírás egzakta marad. Az általános esetben, amelyre a szerző második javaslata vonatkozik, a felületek hierarchiája és technológiai kapcsolatai nem egyértelműek, ezért a leírásnak is általános jellegűnek kell lennie.

A szerző javasolta, hogy a translációs felületet alkalmazzuk a volumetrikus modellezés általános építőelemeként úgy, hogy halmazműveletekkel építsük a teljes alkatrészt, vagy annak a tervezés szemszögéből fontos részét [70]. Az ily módon leírt alkatrész összetett felületként (Sabin félig tré-fásan "Matyi felületnek" nevezte el) áll össze egységes belső ábrázolásmódban. Előnye a rendszernek, hogy a hasonló modellekhez képest bonyolult alkatrészek is (3.6.ábra) viszonylag egyszerűen leírhatók és ábrázolhatók. A modell a KGST 3KT rendszerben realizálódott és különösen alkalmas süllyesztékek, műanyag szerszámok, kokillák leírására.

3.2. A szerszám modellje

A tervezés során szükség van a szerszám funkcionális, topológiai és matematikai modelljére egyaránt. A szerszám kiválasztásakor a típus (funkció), a geometriai modell, a gépen való elrendezésekor a csatlakozó felületek konstrukciója, a paraméterek meghatározásakor a mechanikai modell, az élgeometria, a működő felületek összetétele, a mozgások tervezésekor pedig ismét a geometriai és a topológiai modell ismerete, alkalmazása szükséges.

Az APT és az EXAPT, mivel a szerszámokat általában nem választja automatikusan, igen egyszerű modelleket alkalmaz. A FORTAP-ban oldotta meg a szerző először a szerszámmodellezés feladatát. Részletes leírása helyett itt meg kell elégednünk a FORTAP szerszámkártya bemutatásával (3.2.Melléklet), amely az esztergaszerszám általánosított makro- és élgeometriai modelljére épülve egyúttal mechanikai, geometriai, funkcionális és topológiai modellként is szolgál. A modellt átvette a KGST NC programozási rendszer, valamint az OTIR és az IGRA adatbank is. A KGST rendszerhez a kártyarendszert részleteiben Berta Miklós dolgozta ki [106].

3.3. A szerszámgép modellje

A gyártásban érdekelt objektumok legösszetettebb modellje a szerszámgépé, mivel a tervezés mindhárom szintjén alkalmazzuk. A funkcionális modellre szükség van a kiválasztás során (munkálási módok, munkatér méretek) és a technológiai paraméterek számításakor (előtolás és fordulatszám sorok, teljesítmény stb), a topológiai leírásra a szerszám elrendezés és az anyagfolyam tervezésekor (tár, revolverfej, palettarendszer), a mechanikai modellre ismét a paraméterek számításakor (rezgések, deformációk), a geometriai modellre a szerszámpályák tervezésekor (ütközések, hibatérkép stb). Érdekes módon a tervezőrendszerek e kérdést teljesen elhanyagolják s talán e körülmény is jól mutatja a rendszerek fogyatékoságait. Kivételesen e tekintetben a TAUPROG, amely egy-egy jellegzetes géptípus modelljét alkalmazza.

A FORTAP volt az első rendszer, amely eljutott a szerszámgép általánosított funkcionális-topológiai modelljéig (3.3. Melléklet). E modell feltételezi, hogy az egyes megmunkálási módok a sokszános, revolverfejes, többtáras szerszámgép különböző egységein sokféleleképpen realizálódhatnak, a szerszámok a gépben sokféleleképpen csatlakozhatnak, és a szerszámgép jellegét a rajta megvalósítható megmunkálások készlete határozza meg. Ez a modell tette lehetővé a szerszámválasztás és szerszámelrendezés általános megoldását.

Külön problémakört képez a soktengelyes (4, 5 és 6 tengelyes) szerszámgépek kinematikai modellezése. A problémát öt tengelyig bezárólag nyilvánvalóan megoldották, hiszen ilyen szerszámgépeket gyártanak és alkalmaznak. A megoldás módjának azonban az ilyen szerszámgépek, vezérlések és programozásuk abszolút embargós volta miatt egyáltalán nincs szakirodalma.

Soktengelyes szerszámgépről - megkülönböztetve a sokorsóstól - akkor beszélünk, ha a megmunkálás mellékmozgásai (előtoló mozgásai) kettőnél több mozgás eredőjeként jönnek létre. Három tengelyes (3D-s) mozgás esetében (már ez is embargós) három lineáris mozgás, 4, 5 és 6 tengelyes (4, 5 és 6 D-s) megmunkálás esetében három lineáris és 1, 2 vagy 3 rotációs mozgás összegeződik. Az ipar sürgető igénye (áramlástani gépek, repülőgépek, szerszámok) és az embargó kényszerítette a szerzőt a modell megalkotására.

Az öttengelyes szerszámgép marógépben, vagy ha azt szerszámtárral és - cserélővel is ellátjuk öttengelyes megmunkáló központban realizálódik. Az egyik lehetséges megoldásban (3.7.a ábra) a vízszintes főorsójú gép asztalára függőleges tengelyű, majd arra vízszintes tengelyű folyamatosan mozgatható NC vezérelt körasztalt helyezünk. Más megoldásokban az egyik, vagy mindkét rotációs mozgást a főorsó folyamatos döntésével valósítják meg (3.7.b ábra). A 3.7.a ábra szerinti felépítésben az X, Y és Z tengely lineáris mozgásokat, míg a B'tengely az Y körüli rotációt, az A'tengely pedig az X körüli rotációt jelöli. A B' és A' jelű mozgások lehetővé teszik, hogy a szimmetrikus szerszám (pl. maró)

tengelye a munkadarabhoz az érintkezési pontban mindig meghatározott módon (pl a felületi normális irányában, vagy azzal meghatározott szöget bezárva, vagy az érintőkkel párhuzamosan és a haladási irányra merőlegesen) csatlakozzék. A két rotációs mozgás lehetővé teszi olyan felületek elkészítését nagy termelékenységgel, amelyek e mozgások nélkül egyáltalán nem, vagy csak igen alacsony termelékenységgel állíthatók elő.

A 3.7a ábrászerinti szerszámgépen az A' forgástengely helyzete állandó, míg a B' tengely helyzetét az A' tengely körüli elforgatás megváltoztatja. Feltételezhetjük, hogy a megmunkálni kívánt felület pontjainak X, Y és Z koordinátái ismertek. 3 tengelyes megmunkálás esetén ezek lesznek a megmunkálási végpontok is. A B' és A' tengely körüli elforgatás megváltoztatja a felület pontjainak helyzetét. Az új X', Y', Z' pontok koordinátáit öt transzformációs lépés eredményeként számíthatjuk (3.4. Melléklet). A szerző által összeállított projekt keretében a szerző által specifikált öttengelyes megmunkáló rendszer gyártása a SZIM-ben megindult, s így egy igen jelentős embargókorlát áttörésére van remény!

Ismeretlen viszont a 6 tengelyes univerzális szerszámgép (létezik persze 8 tengelyes NC fogazógép is), sőt az igénye sem fogalmazódott meg. Pedig, mint látni fogjuk, a harmadik rotációs mozgás bekapcsolása az öttengelyes megmunkáláshoz képest azonos termelékenység mellett sokszorta kisebb hibákat, azonos pontosság mellett pedig sokszorta (akár több nagyságrenddel) nagyobb termelékenységet eredményezhet. A harmadik rotációs mozgás, vagyis a hatodik tengely a nem szimmetrikus szerszám (pl. gyalukés, vésőkés) helyzetének teljes meghatározásához és vezérléséhez szükséges. Az X tengely körüli rotációt realizáló A tengely lehetővé teszi, hogy a szerszám a pillanatnyi haladási irányhoz képest a legkedvezőbb irányba "nézzen". A hatodik tengely bevezetése egészen új felépítésű gyalu- és vésőgépeket hozhat létre (3.8. ábra), ha leküzdjük az a téves szemléletet, amely mint túlhaladottat idő előtt eltemette a gyalulást és a vésést. Később kimutatjuk hogy bonyolult felületek végső megmunkálásakor a véséssel és a gyalulással egyet-

len más módszer sem konkurálhat. Az A, B és C tengely körüli elforgatás eredményeként megváltozott helyzetű felületi pontok X' , Y' és Z' koordinátáit a megfelelő koordinátatranszformációk segítségével határozhatjuk meg. Az új felépítésű szerszámgép működését már szimuláltuk, a hatodik tengelyt kézzel vezérelve forgácsolási próbákat is végeztünk. Remélhetőleg szerszámgépiparunk ipari változatát is elkészíti a közeli jövőben. Ez lehetne az első speciálisan magyar szerszámgép.

3.4. Az MKGS-rendszer modellje

A munkadarab-készülék-gép-szerszám (MKGS) rendszer statikus és dinamikus modellezésének elég nagy szakirodalma van. A statikai modell Szokolvszkij, Kovan, Korszakov, Balaksin, Votyinov [110], Tóth Tibor és Troszenszkij [111] nevéhez fűződik, míg a dinamikai modellalkotás terén Tobias [112], Tlusty [113], Kugyinov [114], Stépán Gábor [115] és Nagy Sándor [116] munkássága emelhető ki. A statikai modellek alapvető problémája, hogy síkbeli idealizált feltételekre és pontszerű szerszámmra vonatkoznak, míg a dinamikai modellek - legalábbis azok, amelyek megkísérlik a rezgések meghatározását is - maximálisan két szabadságfokot engednek meg.

Az ilyen egyszerűsített modellek alkalmatlanok a statikus deformációk és a rezgések meghatározására, s ily módon a tervezésre. A szerző már kandidátusi értekezésében kísérletet tett valósághű statikus modell megalkotására [117]. E statikus modellnek csak egyik összetevője a mechanikai viszonyok helyes tükrözése. Ez sem könnyű, bár analitikusan [118], vagy a véges elemek módszerével megoldható. A modellnek le kell írnia az előgyártmány alakhibáit, megmunkálhatóságát, a szerszám megmunkáló képességét, a gép geometriai hibáit, a beállítási hibákat stb. Az erők és a deformációk (hibák) számítása csak akkor lehet pontos, ha figyelembe vesszük a szerszám állandóan változó aktuális profilját. E nélkül nem tudjuk követni az erő változásait, amelyek olyan mérvűek lehetnek, hogy az állandónak feltételezett erő mellett várt (pl.nyergesség) helyett esetleg

ellentétes előjelű (pl.hordós) alakhibát kapunk. Úgy látszik, mintha a mechanikai törvények hatályukat veszítenék, holott csupán arról van szó, hogy rosszul számítjuk az ébredő erőket.

Az MKGS-rendszer egzakt modelljének az a rendeltetése, hogy alkalmazásával a statikus és dinamikus deformációkat korlátozzuk, vagy - megfelelő érzékelők és irányítórendszerek esetében - szabályozzuk, sőt kompenzáljuk. Segítségével kijelölhetjük a megmunkálási paraméterek olyan tartományait, amelyek mellett a folyamat stabil (stabilitási térképek) és a megmunkált munkadarab minőségi jellemzői kielégítik a tűrések meghatározta követelményeket.

Megalkotásakor figyelembe kell vennünk, hogy térbeli rendszerrel van dolgunk, a forgácsolóerő nagysága és iránya állandóan változik, a technológiai rendszernek sok szabadságfoka van, és a rendszer viselkedését nem csak a pillanatnyi feltételek, hanem az előzmények is befolyásolják. A forgácsolóerő függ a forgács szélességétől és vastagságától, ez utóbbiakat viszont befolyásolják az előző fogás, fordulat stb eredményei. Általában tehát holtidős differenciálegyenlettel kell számolnunk.

Egyszerűsítő feltevések bevezetésével, de még a valóságos viszonyokat megközelítően az MKGS rendszert két hatszabadságfokú lengő tömeggel tudjuk modellezni. A két test érintkezési pontjában támad a forgácsolóerő, amely függ a két tömeg relatív elmozdulásától, az erő hatásvonala nem megy át a tömegközéppontokon és a rugalmassági középpontokon (3.9.ábra).

Az \underline{O} pontra meghatározott tehetetlenségi (\underline{M}), csillapítási (\underline{K}) és rugalmassági (\underline{C}) mátrixok alapján az erőegyenletek:

$$\underline{M}_1 \cdot \ddot{\underline{x}}_1 + \underline{K}_1 \cdot \dot{\underline{x}}_1 + \underline{C}_1 \cdot \underline{x}_1 = \underline{F}_1 \quad (3.1)$$

$$\underline{M}_2 \cdot \ddot{\underline{x}}_2 + \underline{K}_2 \cdot \dot{\underline{x}}_2 + \underline{C}_2 \cdot \underline{x}_2 = \underline{F}_2 \quad (3.2)$$

$$\underline{F}_1 = \underline{F}_2 \quad (3.3)$$

$$\underline{F}_1 = \underline{F}_1(\underline{x}_1(t), \underline{x}_2(t), \dot{\underline{x}}_1(t), \dot{\underline{x}}_2(t), \underline{x}_1(t-\tau), \underline{x}_2(t-\tau)) \quad (3.4)$$

Az egyenletrendszer állandóinak nagy része (csillapítás, rugóállandók) adott (rendszerállandók), más része a forgácsolási feltételek függvénye (szerszám, anyagminőség, élszögek, fogásban lévő élhossz stb) és szabadon választható. A τ holtidő, amely a stabilitást jelentősen befolyásolja nem más mint a munkadarab egy körülfordulásának ideje. A modell hosszesztergálásra való értelmezését mutatja a 3.10. ábra. Feltételezzük, hogy a szerszám és a munkadarab abszolút merev, a szerszám csúcsa nincs lekerekítve (3.11. ábra), a szerszám mellékéle nem lép kapcsolatba a munkadarabbal és a rugókaraktisztikák lineárisak. E korlátozó feltételek feloldása tovább finomítaná a modellt, de megfelelő erőegyenletek hiányában a jelentős eredményeket a pontosításban nem eredményezne. Az ábrák jelölései alapján a forgács szélességre a

$$b(t) = \frac{a_0 - (x_{1y}(t) + x_{2y}(t))}{\sin \kappa} \text{ mm,} \quad (3.5)$$

a forgácsvastagságra a

$$h(t) = (f_0 - x_{1x}(t) - x_{2x}(t) + x_{1x}(t-\tau) + x_{2x}(t-\tau)) \sin \kappa + (x_{1y}(t-\tau) + x_{2y}(t-\tau) - x_{1y}(t) - x_{2y}(t)) \cos \kappa, \text{ mm} \quad (3.6)$$

a pillanatnyi relatív sebességre pedig a

$$v(t) = v_0 - (\dot{x}_{1z}(t) + \dot{x}_{2z}(t)) \text{ m/sec} \quad (3.7)$$

kifejezést kapjuk.

Az összefüggésekben a_0 a pillanatnyi fogásvételi érték, f_0 a névleges előtolás, v_0 a névleges forgácsolási sebesség és κ a szerszám főélének elhelyezkedési szöge.

Ezeket is figyelembe véve a forgácsolóerő összetevőit - jobbak hijján - az alábbi összefüggésekkel számítjuk:

$$F_{1x} = C_{Fx} \cdot b(t) \cdot h(t)^{yx} \cdot \left(\frac{v(t)}{v_{ref}} \right)^{zx} \cdot \sin \kappa \quad (3.8)$$

$$F_{1y} = C_{Fy} \cdot b(t) \cdot h(t)^{yy} \cdot \left(\frac{v(t)}{v_{ref}} \right)^{zy} \cdot \cos \kappa \quad (3.9)$$

$$F_{1z} = C_{Fz} \cdot b(t) \cdot h(t)^{yz} \cdot \left(\frac{v(t)}{v_{ref}} \right)^{zz} \quad (3.10)$$

Egyszerűség kedvéért $yx=yy=yz=y$ és $zx=zy=zz=z$.

Az O pontban nyomatékok nem ébrednek, ezért

$$F_{0x} = F_{0y} = F_{0z} = 0 \quad (3.11)$$

Az a_o -ban figyelembe tudjuk venni az előgyártmány alakhibáit és a beállítási hibákat is.

A modell, valamint az alakképzési (forgácsolási folyamat) vizsgálatával nemcsak a folyamat stabilitását elemezhetjük, hanem számíthatjuk a munkadarab méret, és alakhibáit, sőt érdekességét is.

A felvázolt modell részletes kifejtése és az egyenletrendszer megoldása konkrét esztergálási esetre a 3.5. Mellékletben található. Az eredményként kapott stabilitási térképeket korlátozottként használjuk a forgácsolási paraméterek meghatározásakor, illetve referencia adatokként, a priori ismeretekként alkalmazzuk a nem kívánatos méretű rezgések valósidejű automatikus eliminálására felügyelet nélküli megmunkálási környezetben.

3.5. A gyártórendszer modellje

Az alkatrészgyártási folyamat tervezése szemszögéből a gyártórendszer funkcionális-topológiai modelljének kialakítása fontos.

A sorrendtervezés szintjén a modell rendeltetése az, hogy lehetővé tegye egy-egy konkrét rendszerben az alkalmas gyártóberendezések kiválasztását, s azok között a legjobbak meghatározását. Éppen ezért a modellt úgy célszerű felépíteni, hogy abban a megmunkálási módokat és a gyártórendszer megfelelő berendezéseit rendeljük össze. Ha csak az alkalmas szerszámgépek kiválasztása a cél, akkor egyszerű kétméretű mátrixszal a modell leírható. Ha optimálni is akarunk, akkor a gépekhez minőségi jellemzők is rendelhetők (percköltség, fajlagos teljesítmény stb). Nagyon fontos a modellben a megmunkálási mód árnyalt értelmezése. Nem egyszerűen valamely forgácsolási eljárást (pl. esztergálást), nem is csupán annak valamely változatát (pl. nagyoló esztergálást) rendeljük össze a szerszámgéppel, hanem tovább finomítjuk a fogalmat. Figyelembe vesszük a munkadarab típusát (tengely, tárcsa, szekrény stb), méretét (kicsi, közepes stb), a megmunkálandó felület méretét és a megmunkálás fő irányát is (hossz,- kereszt,- kontúr,- kupesztergálás stb), ha annak a gép, vagy a vezérlés felépítése, képességei szempontjából jelentősége van. Feltűnő, hogy tehát nem a munkadarabhoz (tengely, tárcsa stb), hanem a munkadarab gyártása során előforduló megmunkálási módokhoz rendelünk berendezéseket, ellentétben az ismert tervezőrendszerekkel. Ez teszi rugalmassá a gépválasztást, az alkalmazkodást a környezeti feltételek változásához. Az alkatrészgyártás ugyanis a megmunkálási módok aktuális sorozatának alkalmazását jelenti. Ha mindegyik megmunkálási módhoz kiválasztjuk az alkalmas gyártóberendezéseket, akkor a későbbi optimalás során a gyártási igények és a berendezések képességeinek (a műveleti koncentráció lehetőségeinek) összevetésével a legmegfelelőbb berendezésre mindenképpen rátalálunk (pl. egy megmunkálóközponttra több marógép és fűrőgép helyett).

A gyártórendszer modell tükrözi a rendszer összes technológiai képességét és azok eloszlását. Módot nyújt azonban a rendszer mindenkori állapotának, terhelésének dinamikus követésére is. Az elromlott, túlterhelt, javításban lévő stb. berendezések átmenetileg vagy akár véglegesen törölhetők a mátrixból és a további tervezés során azokat a tervezőrendszer nem választhatja

ki. Természetesen újbóli aktivizálásuk is egyszerűen megoldható. Ilymódon a gyártórendszer modell (mátrix) kényelmes és koncentrált csatlakozási felületet nyújt a technológiai tervezés és a termelésirányítás között.

Hasonló modellt alkalmazunk a szerző koncepciója alapján kifejlesztett BME sorrendtervező rendszerben és az annak alapján a GTI-ben kidolgozott GLEDA rendszerben is. Ismereteink szerint más rendszerek a gyártórendszer fogalmát sem ismerik, így azokban sem a modell, sem annak rendszerek közötti csatlakozási felületként való alkalmazása nem merül fel.

3.6. A gyár modellje

A gyártási előtervezés feladata a gyártórendszer kiválasztása egy-egy alkatrész gyártásához a tömegszerűség és a gazdasági cél függvényében. Ezt a célt szolgálhatja (automatizált előtervező rendszer még nem létezik, de a modell birtokában könnyen fejleszthető) a gyár modellje, amely alkatrésztípusokat és gyártórendszereket rendel össze. Célszerű, ha ez az összerendelés nem csak a lehetőségeket, hanem a rendszerek sajátosságait is tükrözi. Ezek között a legfontosabb, hogy egy-egy rendszer alkalmazása milyen tömegszerűség (egyedi, kis-, közép,- nagysorozat, tömeggyártás) mellett a leggazdaságosabb és hogy milyen célfüggvényt (termelékenység vagy költség) szolgál a leghatékonyabban. Az alkatrésztípusra ugyanolyan megszorítások érvényesek, mint a gyártórendszer esetében a megmunkálási módra (méretek, minőség stb).

A gyár modelljének csak abban az esetben van értelme, ha a berendezéseket alacsony tömegszerűség mellett is - a csoporttechnológia elveit alkalmazva - alkatrésztípusokhoz dedikált gyártórendszerekbe szervezzük. A korszerű gyártásnak ez ma már természetes előfeltétele. A modellben az alkatrészcsoporthoz azonosítására célszerűen osztályozórendszereket alkalmazhatunk.

3.7. A forgácsolási folyamat modellje

A legfontosabb objektumok modelljeinek áttekintése után, azok birtokában rátérhetünk az automatizált tervezés egyik legfontosabb és legizgalmasabb kérdésére, a megmunkálási folyamat adekvát modellezésére. E kérdésnek - mint már említettük - ma már széleskörű szakirodalma van, azonban az ismert modellek kivétel nélkül olyan mértékű elhanyagolásokat alkalmaznak, hogy a modellek teljesen elszakadnak a valóságtól, vagy csak nagyon speciális esetben, a paraméterek változásának igen szűk tartományában érvényesek és nem tüntetik fel az érvényesség határait. Nem is teljesek ezek a modellek, hisz a folyamatnak csak egy-egy részletkérdésére épültek és a folyamatnak csupán egyes szakaszait tárgyalják. A legtöbb modell a forgácsolási paraméterek meghatározását szolgálja. Sok munka foglalkozik a megmunkálási hibákkal. Ezek is megengedhetetlen egyszerűsítésekéből indulnak ki.

A feladat tehát a megmunkálási folyamat általános modelljének kialakítása. Ennek során figyelembe kell vennünk, hogy a folyamat igen bonyolult anyag,- energia- és információfolyam, amely jellegzetesen diszkrét, szakaszos volta ellenére is tartalmaz folytonos szakaszokat.

A megmunkálási - a mi esetünkben a forgácsolási - folyamat műveletelemek sorozata. Egyúttal természetesen mozdulatok, műveletek, sőt műveletcsoportok sorozata is, de a tervezés és a modellezés szempontjából a műveletelemnek - ami forgácsolás esetében nem más, mint egy logikailag összefüggő ráhagyási alakzat eltávolítása egy szerszámmal egy, vagy több fogásban - kitüntetett szerepe van. A műveletelemben realizálódik az eljárás, benne, mint a folyamat legkisebb önálló, befejezett szakaszában megnyilvánul a folyamat minden jellegzetessége, ugyanakkor homogén. A műveletelem a tervezés alapvető építőköve. Ez a felismerés tette lehetővé a szerzőnek teljesen automatizált tervezőrendszerek kifejlesztését. E központi szerepkört tükrözi a művelet logikai vázlata is (3.12 ábra).

Nagyon fontos, hogy a műveletelemet peremfeltételeivel együtt értelmezzük. Azaz nem csupán a ráhagyási alakzat, a megmunkálási irányok és a szerszám, hanem a környezeti feltételek, a szomszédos ráhagyásokhoz, felületekhez való csatlakozás körülményei is fontosak (3.13 ábra). Ezek határozzák meg ugyanis a forgácsolási kezdőpont megközelítésének módját, - a fogás végén a kiemelés irányát és az esetleges kiegészítő munkautakat (3.14 ábra). A csatlakozási feltételek műveletelem jellemzőkként való kezelése lehetővé teszi aműveletelem független mozgatását a sorrendiség meghatározása során is, anélkül, hogy vissza kellene nyúlnunk a teljes munkadarab elemzéséhez.

A folyamat tehát alakképzési (információ) folyamat, forgácsképzési folyamat (anyag) és szerszámmozgások (energia) folyamata egyidejűleg. Tervezése a műveletelem szintjén a forgácsolási paraméterek és a szerszámpályák tervezését jelenti úgy, hogy az éppen kialakítandó felületek a műszaki követelményeket kielégítsék, a folyamat stabil és biztonságos legyen, és közben a kitűzött gazdasági célt a lehető legjobban megközelítsük. Részleteiben modelleznünk kell tehát az alakképzési folyamatot, a forgácsolási feltételeket és a szerszámmozgásokat.

3.7.1. Az alakképzési folyamat modellezése

A feladat a folyamat olyan mélységű modellezése, amely lehetővé teszi a képződő felület helyzetének, méreteinek, alakhibáinak és érdességének meghatározását. A modellezés célja, hogy egzakt korlátokat tudjunk szabni a forgácsolási paraméterek meghatározására, helyesen tudjuk kiválasztani az adaptív irányítás leghatékonyabb stratégiáját, vagy a hibák kompenzálásának módját, paramétereit kváziadaptív szabályozás esetében.

A kérdést, amint azt fentebb bemutattuk, már sokan vizsgálták. Sajnos síkban és a forgácskeresztmetszet változásának figyelembe vétele nélkül. Próbáljunk tehát eltekinteni e két egyszerűsítéstől. Legyen példánk a hosszesztergálás, amiről - azt hittük - már mindent tudunk.

Fentebb tárgyaltuk a különböző módon leírt felületeket. Bizonyítás nélkül belátható, hogy minden forgácsolással képzett felület transzlációs felület, amely úgy képződik, hogy a szerszámpálya (mint direktrix) mentén mozog a szerszám állandóan változó aktuális profilja (mint generátor). A transzlációs mozgás, amely a megmunkálás fő- és mellékmozgásainak eredője, lehet egyszerű lineáris (üregelés), szakaszosan lineáris (vésés, gyalulás), egyszerű rotációs (beszúró köszörülés vagy esztergálás), csavar- v. spirálvonal menti (hosszesztergálás, keresztesztergálás, marás), vagy még összetettebb (lefejtő marás). Elméletileg pontos felület forgácsoláskor csak azokban a ritka esetekben keletkezhet, amikor az elméleti és valóságos felület azonos direktrix és generátor segítségével írható le. Ilyenek a felületazonos profilozó eljárások (beszúró köszörülés és esztergálás, menetesztergálás stb). Általában ez a feltétel nem teljesül, ezért az elméleti felületet csak közelíteni tudjuk. Igaz ez a hosszesztergálás eseteire is. Éppen ezért kell egzakt modellt kidolgoznunk, hogy a közelítést a szükséges pontossággal meg tudjuk valósítani.

Hosszesztergáláskor az elméleti direktrixgörbét a munkadarab forgómozgása és a szerszám előtoló mozgása határozza meg. Egyenes szakasz esztergálása esetében

$$D = \underline{i} R_0(x) \sin(\Psi_0 + \omega t) + \underline{j} R_0(x) \cos(\Psi_0 + \omega t) + \underline{k}(x_0 + v(x)t)$$

Az összefüggésben

$R_0(x)$ - a munkadarab elméleti sugara az x metszetben;

Ψ_0, x_0 - a megmunkálás kezdőszöge és kezdősíkjá;

$v(x)$ - az előtolási sebesség x irányú összetevője.

A valóságos direktrixgörbe eltér az elméletitől a beállítási, geometriai és kinematikai hibák, valamint a hossztengely mentén változó forgácsolóerő és merevség következtében változó alakváltozások, hődeformációk stb. miatt. Ha fel is tételezzük, hogy a direktrix menetemelkedése a fenti hatások elle-

nére sem változik, a munkadarab sugarának torzulását figyelembe kell vennünk. A szerszám kopását is figyelembe véve a munkadarab sugara az időnek is függvénye, azaz

$$R(x,t) = R_0(x) + \delta g(x,t) + y(x,t) \quad (3.12)$$

Az összefüggésben a hibákat valószínűségi változókként kezelve

$$\delta g(x,t) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (k_i \delta_i(x,t))^2} \quad (3.13)$$

és a (3.5) összefüggés értelmében

$$y(x,t) = x_{1y}(t) + x_{2y}(t) \quad (3.14)$$

Az alakváltozásokat az MKGS-rendszer 3.4 pontban kifejtett modelljének statikus megoldásával határozhatjuk meg. Feltételezzük, hogy az f_0 előtolás a munkadarabalkotó érintőjének irányában állandó, az érintő iránya pedig

$$\alpha = \arctg \frac{\partial R_0(x)}{\partial x} \quad (3.15)$$

azaz számításakor nem vesszük figyelembe a direktrix torzulását.

A pillanatnyi elméleti fogásvételi érték nem csak a ráhagyástól, hanem az előgyártmány alakhibájától, valamint az összegzett geometriai hibáktól is függ (ide soroltuk feltételesen a hődeformációkat és a szerszám méretkopását is), ezért

$$a_0(x,t) = a_0(x) - \delta g(x,t) + \delta e(x), \quad (3.16)$$

ahol $\delta e(x)$ - az előgyártmány alakhibája az x síkban. így a pillanatnyi fogásmélység

$$a(x,t) = a_0(x,t) - y(x,t) = a_0(x) - \delta g(x,t) + \delta e(x) - y(x,t) \quad (3.17)$$

Az f_0 előtolás x tengely irányú összetevője egyenes szakaszokon

$$f(t) = f_0 \cdot \cos \alpha(t) \quad (3.18)$$

Ha figyelembe vesszük, hogy a szerszám csúcsa r_{sz} sugarú lekerékítéssel készül (3.15 ábra), akkor a munkadarab r_m sugárral jellemzett íves szakaszán az előtolás változik a direktrix és a generatrix érintkezési pontjának "vándorlása" miatt is, így az x irányú pillanatnyi előtoláskomponens

$$f(t) = f_0 \frac{r_m}{r_m + r_{sz}} \cos \alpha(t) \quad (3.19)$$

lesz. Az r_{sz} előjele negatív, ha a munkadarab felülete a szerszám felől nézve homorú.

A pillanatnyi x irányú előtolási sebesség hengeres szakaszon

$$v_x = f_0 n$$

és így

$$x = x_0 + f_0 n t \quad (3.20)$$

kúpon

$$v_x = f_0 n \cos \alpha$$

$$\text{és } x = x_0 + f_0 n t \cos \alpha \quad (3.21)$$

Körív mentén való elmozdulás esetében az α szög folytonosan változik, ezért

$$v_x(t) = f_0 n \frac{r_m}{r_m + r_{sz}} \cos \alpha(t)$$

$$\text{és } x = x_0 + f_0 n \frac{r_m}{r_m + r_{sz}} \int_{t_1}^{t_2} \cos \alpha(t) dt$$

A szögelfordulás

$$\psi = \psi_0 + 2\pi n t \quad (3.23)$$

és így a direktrix általános egyenlete

$$D = iR(x,t) \sin \psi + jR(x,t) \cos \psi + k \cdot x \quad (3.24)$$

Az $R(x,t)$ meghatározásához szükség van az erők és az alakváltozások ismeretére.

Az erőegyenletekben a forgácsszélesség és a forgácsvastagság szerepel. A 3.16. ábra alapján a forgácsszélesség

$$b(x,t) = \frac{a(x,t)}{\sin \kappa} \quad (3.25)$$

és a forgácsvastagság

$$h(x,t) = f_0 \sin(\kappa - \alpha(t)). \quad (3.26)$$

Az $a(x,t)$ és az $y(x,t)$ meghatározásához az MKGS rendszer modelljének statikus megoldásával, a C_1 és C_2 mátrixok invertálásával juthatunk el (3.5. Melléklet).

Az

$$a_0(x,t) = a_0(x) - \delta g(x,t) + \delta e(x)$$

és az

$$E(x) = f_0^y \frac{\sin^y(\kappa - \alpha(t))}{\sin \kappa} \left(\frac{v(t)}{v_{ref}} \right)^z (C_{Fx} \sin \kappa (g_{21} + e_{21}) + C_{Fy} \cos \kappa (g_{22} + e_{22}) + C_{Fz} (g_{23} + e_{23})) \quad (3.27)$$

jelölés bevezetésével az alakváltozás és a fogásmélység

$$y(x,t) = a(x,t) \cdot E(x); \text{ illetve}$$

$$a(x,t) = \frac{a_0(x,t)}{1 + E(x)}$$

Az $E(x)$ rendszerjellemző segítségével kiküszöbölhetjük a Szokolovszkij által javasolt "negatív" merevséget, ami nyilvánvalóan mechanikai abszurdum. Ugyanakkor konkrét megoldása a Balaksin által javasolt, de részleteiben ki nem dolgozott ekvivalens erőnek.

Balaksin szerint az ekvivalens erő

$$F_{ye} = aF_x + bF_y + cF_z$$

és a rugalmas alakváltozás

$$y = \frac{F_y e}{j_y}$$

ahol j_y - a rendszer y irányú merevsége.

Az $E(x)$ tehát tulajdonképpen nem más mint az egységnyi fogásmélység mellett fellépő rugalmas alakváltozás.

Vezessük be a

$$W(x) = \frac{1}{1+E(x)}$$

jelölést. Ekkor

$$a(x, t) = a_0(x, t) W(x) \text{ és}$$

$$y(x, t) = a_0(x, t) (1 - W(x)) \quad (3.28)$$

így a direktrix sugara

$$R(x, t) = R_0(x) + \delta g(x, t) + a_0(x, t) (1 - W(x)) \quad (3.29)$$

A $W(x)$ felfogható, mint a folyamat általános statikus jellemzője, amely az egységnyi fogásvételi érték mellett az erőt, a fogásmélységet és a rugalmas alakváltozást jellemzi és kapcsolja össze.

A direktrixet a (3.20), (3.21), (3.22), (3.23), (3.24), (3.27) és (3.29) összefüggés határozza meg.

A generátort megtestesítő késprofil csúcskörével csatlakozik a generátorhoz (3.17 ábra), és mindig a forgástengely és az aktuális érintési pont által meghatározott síkban van. Ésszerűnek látszik a generátor relatív koordinátarendszerét úgy felvenni, hogy annak origója átmenjen a generátor csúcskörének középpontján (3.18. ábra). Így a transzformációs állandók

$$RTR = r_{sz} \cos \alpha$$

$$XTR = -r_{sz} \sin \alpha$$

lesznek és a generátor pontjaira az

$$R_G(x, t) = R(x, t) + RTR + r_g(x_g), \quad (3.30)$$

$$X_G(x, t) = x + XTR + x_g \quad (3.31)$$

összefüggéseket kapjuk.

A forgácsolás során képződő felület pontjait az

$$F = iR_G \sin \Psi + jR_G \cos \Psi + kX_G \quad (3.32)$$

összefüggéssel számíthatjuk. A valóságos felület úgy alakul ki, hogy a szerszám működő élei elől az előgyártmányt, hátul pedig az egy fordulattal előbb keletkezett felületet metszik. A munkadarab egy-egy valóságos alkotóját úgy határozzuk meg, hogy összefüggésünket

$$\Psi = \Psi_1 + k2\pi$$

értékekre oldjuk meg. A mérethiba felfogható, mint

$$\delta_m = (R_G(x, t) - R_O(x))_{\min}, \quad (3.33)$$

a hosszmetszeti alakhiba pedig mint

$$\delta_{ah} = (R_G(x, t) - R_O(x))_{\max} - (R_G(x, t) - R_O(x))_{\min} \quad (3.34)$$

a megmunkálás teljes hosszán értelmezve a különbséget.

A keresztmetszet alakhibája szükségszerű következménye a hosszmetszeti hibának és mindig bekövetkezik, ha a szerszám nem a forgástengellyel párhuzamosan halad. Meghatározható valamely metszetben mint

$$\delta_{ak} = (R_G(x, t))_{\max} - (R_G(x, t))_{\min} \quad (3.35)$$

a különbséget a

$$\Delta x = f(t) = f \frac{r_m}{r_m \pm r_{sz}} \cos \alpha(t)$$

hosszon értelmezve, miközben

$$X_G = \text{constans},$$

azaz

$$dx = -dx_g$$

hogy a vizsgált keresztmetszetben maradjunk (3.19.ábra).

Értelmezhető a modellen a felületi érdesség (R_z) is, mint egy-egy alkotón a generátor aktív szakaszának legmagasabb és legmélyebb pontjai közötti különbség R irányban. Ez természetesen tisztán geometriai megközelítése a problémának, hiszen a rezgések és a megmunkálandó anyag tulajdonságai is hatnak az érdességre és ez a hatás különösen kis előtolásértékek mellett számottevő.

Az alakképzési folyamat modelljét felhasználjuk a technológiai adatok meghatározásánál és a kváziadaptív vezérlés programozásánál.

Bizonyos megmunkálások esetében hasonló folyamatelemzés nélkül még csak megközelítő képet sem kaphatunk a valóságról. Jellemző példa az örvénylő marás, esztergálás, menetvágás, ahol a kinematikai feltételek nélkül nem értelmezhető sem a felület alakja, sem érdessége. A modellezés annál is inkább fontos, mert a forgásviszonyok megválasztásától azonos egyéb feltételek mellett nagymértékben függ a felület alakhűsége, sőt típusa is. Kör helyett poligon profilok is leképezhetők.

A valóságos fogásmélység és a fordulatonkénti előtolás változása lényegi tulajdonsága a széles szerszámokat alkalmazó megmunkálásoknak. Ilyenek a hosszelőtolásos palást- és furatköszörülés, síkköszörülés stb. Esetükben a fent vázolt modell alkalmazása elengedhetetlen szükségszerűség [117]. A folyamat sokfogatós jellege külön vizsgálatot érdemel.

Vizsgáljuk meg a hosszelőtolásos köszörülést. Az első fogáson

$$a_1(x, t) = a_0(x, t) W(x)$$

$$y_1(x, t) = a_0(x, t) (1 - W(x))$$

A következőkben minden újabb löketen a_0 fogást veszünk. Ideális beállítás és előgyártmány esetében a második fogáson a munkadarab és a szerszám közötti túlfedés

$$a_{02}(x) = a_0 + y_1(x, t)$$

és a fogásmélység

$$a_2(x) = (a_0 + y_1(x, t)) W(x) = a_0 (1 + 1 - W(x)) W(x)$$

$$a_2(x) = a_0 (1 - 1 + 2W(x) - W^2(x))$$

$$a_2(x) = a_0 (1 - (1 - W(x))^2)$$

Az i . fogáson

$$a_i(x) = a_0 (1 - (1 - W(x))^i)$$

Az i minden határon túli növelésével

$$a_\infty(x) = a_0,$$

azaz a fogásmélység minden metszetben asszimptotikusan közeledik a fogásvételi értékhez. Az előgyártmány alakhibája a fogásszám növekedésével egyre csökkenő mértékben tükröződik a munkadarabon. Mivel a fogásmélység alakhibából eredő növekménye

$$\Delta a_1(x) = \delta e_0(x) W(x),$$

az első fogás után

$$\delta e_1(x) = \delta e_0 - \Delta a_1 = \delta e_0 (1 - W(x))$$

méretű alakhiba marad.

A második fogásra

$$\Delta a_2(x) = \delta e_1(x) W(x)$$

és

$$\delta e_2(x) = \delta e_1(x) - \Delta a_2(x) = \delta e_0 (1 - W(x))^2,$$

$$\Delta a_2(x) = \delta e_0 (1 - W(x)) W(x),$$

Az i . fogáson

$$\delta e_0 = \delta e_0 (1-W(x))^i$$

$$\Delta a_i = \delta e_0 (1-W(x))^{i-1} W(x)$$

és

$$\delta e_\infty = 0,$$

azaz az előgyártmány alakhibája kellő fogásszám esetén lényegében nem befolyásolja a munkadarab alakhűségét. Ugyanakkor a geometriai hiba asszimptotikusan átmásolódik a munkadarabra:

$$\delta g_1(x) = \Delta a_1(x) = \delta g_0(x, t) W(x)$$

$$\Delta a_2(x) = \delta g_0(x, t) (1-W(x)) W(x)$$

$$\delta g_2(x) = \Delta a_1(x) + W a(x) + \Delta a_2(x) = \delta g_0(x, t) (1 - (1-W(x))^2)$$

$$\delta g_i(x) = \delta g_0(x, t) (1 - (1-W(x))^i)$$

$$\Delta a_i(x) = \delta g_0(x, t) (1-W(x))^{i-1} W(x)$$

és

$$\delta g_\infty(x) = \delta g_0(x, t)$$

A különböző x metszetekben a hibákat is figyelembe véve az i . fogáson

$$a_i(x, t) = a_0(x) (1 - (1-W(x))^i) + (\delta e_0(x) - \delta g_0(x)) (1-W(x))^{i-1} W(x)$$

fogásmélységet kapunk és így elég nagy fogásszám mellett

$$a_i(x, t) \approx a_0(x) = a_0$$

azaz a fogásmélység minden metszetben azonossá válik a fogásvételi értékekkel. A direktrix sugara ezért az i . fogáson

$$R_i(x, t) \approx R_{i0}(x) + \delta g(x, t) + \frac{a_0}{W(x)} (1-W(x))$$

vagy

$$R_i(x, t) \approx R_{i0}(x) + \delta g(x, t) + a_0 E(x)$$

Az összefüggés még mindig nem elég pontosan tükrözi a köszörülés valóságos viszonyait. Az $E(x)$ ugyanis változik nem csak az

x függvényében, hanem attól függően is, hogy a korongnak milyen hosszúságú szakasza aktív (f_0). Csökken az aktív hossz, amikor lefut a munkadarabról (teljes korongkifutás-kor a munkadarab szélső metszetében $E(x)=0$) és amikor távolodik a munkadarab forgástengelyétől, növekszik, amikor közeledik a korong a forgástengelyhez. Figyelembe kell azt is venni, hogy a löket végén a munkadarab álló asztal mellett i_k fordulatot tesz és eközben kiszikráztatás folyik. A kiszikráztatás eredményeként

$$\Delta a_{ki} = \frac{a_0}{W(x)} (1 - (1 - W(x))^{i_k})$$

vastagságú réteg választódik le. A teljes probléma csak numerikus módszerekkel kezelhető, s úgy meg is vizsgáltuk [125]. Az elemzés választ adott a köszörülés és az esztergálás közötti eltérések okaira. Ilyen mélységű vizsgálat nem mindig lehetséges, de az alakhibák számításakor legalább az $E(x)$ változását kell tükrözni az előtolás megfelelő kezelésével.

A vizsgálat kapcsán érdemes megemlíteni, hogy a szerszámgépes gyakorlatban abszolút gépjellemzőként alkalmazott

$$h = \frac{\delta e_0(x)}{\delta e_1(x)}$$

hibajavítási tényező nagyon függ a megmunkálási feltételektől, hiszen

$$h = \frac{1}{1 - W(x)}$$

így a h csupán relatív gépjellemző, ezért két gép összehasonlításakor azonos feltételek mellett kell értékeit meghatározni.

Érdekes problémát vet fel a munkadarab méretének a gépen való mérése és a méretkorrekció mértékének meghatározása is. A mérési pontot a hozzáférési lehetőségek alapján határozzuk meg és az általában nem esik egybe a (3.33) szerinti mérethiba helyével. Nem szabad ezért a méretet a mért és a kívánt érték közötti különbséggel korrigálni, mert selejtet okozhatunk. A méretet a

$$\Delta a = \frac{(R_G(x,t) - R(x))_{\min}}{1 - W(x)_{\min}}$$

értékkel kell korrigálni. Az összefüggésben szereplő adatok viszont csak az MKGS-rendszer modellje segítségével határozható meg, felhasználva a mért adatokat is. A minőségsszabályozás tehát újabb erős érv a folyamat korrekt modellezése mellett.

Az alakképzési folyamat leírása általánosan is megfogalmazható. Általában a forgácsoló mozgás (főmozgás), a munkadarab által megvalósított előtolás (mellékmozgás) és a szerszám által megvalósított előtolás (mellékmozgás) eredőjeként alakul ki a direktrix. A relatív mozgás négy derékszögű koordináta-rendszer segítségével írható le (3.20. ábra). A szerszám s koordináta-rendszerének 0_s origója célszerűen a szerszám csúcsában van, míg az m koordináta-rendszer a munkadarabhoz kötődik. A szerszám előtoló mozgása úgy írható le, mint az 0_s mozgása egy e koordináta-rendszer 0_e origójához viszonyítva, míg a forgácsoló mozgás - mint az 0_e mozgása egy v koordináta-rendszer 0_v origójához viszonyítva. A munkadarab előtoló mozgása értelmezhető, mint az 0_v mozgása az 0_m -hez képest.

A módszer következetes alkalmazása nagyban megkönnyíti az eljárások kiválasztását. Ha ugyanis egységes módszerrel írjuk le a felületeket - mint generatív felületeket - és a megmunkálásokat, akkor a felületek és az azok létrehozására alkalmas eljárások egymáshoz rendelése formulák vizsgálatára redukálódik. Tovább folytatva a gondolatmenetet eljutunk a gépválasztás egyszerűsítéséhez is, hiszen azok nem mások mint az eljárások kinematikai hordozói.

3.7.2. A megmunkálási folyamat stabilitása

A folyamat stabilitásának legalább két értelmezése van. Az egyik értelmezés a forgács normális alakulására és a szerszám normális kopására vonatkozik. Kis forgácsvastagság és forgács-szélesség mellett - kritikus értékeiket az anyag, valamint a

szerszám élgeometriája és élessége határozza meg - a forgácsolás megszűnik, a forgácsolási sebesség minden határon túli növekedése pedig katasztrófális kopáshoz vezet (bár a szupersebességek tartományában érvényesül a Salomon-effektus, azaz a kopás intenzitása újból lecsökken). Nagyon alacsony sebességek esetében is megszűnik a szabályos forgácsolás. A stabilitásnak ilyen értelmezése az anyagtudomány és a forgácsoláselmélet hatáskörébe esik. A folyamat tervezése szemszögéből az instabil tartományok kizárása egyszerű korlátozások bevezetésével megoldható, annál is inkább, mert a kritikus értékek anyag-, szerszám -, eljárásjellemző állandók.

A tervezés tekintetében a stabilitás másik értelmezése, azaz a rezgések korlátozása érdekes, mert bonyolult. A kényszerrezgések könnyen diagnosztizálhatók, korlátozásuk, megszüntetésük módja is kézenfekvő az okozó tényező ismeretében. A nagy problémát a regeneratív öngerjesztett rezgések okozzák, amelyeket maga a folyamat táplál. Az ok ez esetben a forgácsolási erő függése a sebességtől, a forgácsszélességtől és forgácsvastagságtól. Különösen erős a forgácskeresztmetszet változásának hatása.

A 3.5. Mellékletben részletesen kifejtett modell jól példázza a modellezés nehézségeit forgácsoló megmunkálások esetében.

A 12 szabadságfokú modell elméleti vizsgálata szimulációval, a harmonikus analízis módszerével folyik az MTA IBM 3031 típusú számítógépén. A többhónapos munkák még nem vezettek használható eredményhez.

Tekintettel arra, hogy a dolgozat lényegét az elemzés konkrét eredményei nem befolyásolják, nem vártuk meg e

részmunka befejezését. Össze kívánjuk hasonlítani a 2, a 6 és a 12 szabadságfokú modell viselkedését a jövőendő egyszerűsítési lehetőségek céljából. Ezekre szükség van, különösen akkor, ha a stabilitás vizsgálatát és fenntartását valós időben, megmunkálás közben, automatikusan akarjuk végezni. Nagy problémát okoz az, hogy az MKGS rendszerben csak a gép állandó, a szerszám, a készülék és a munkadarab állandóan változik. Meg kell találni annak a módját, hogy az MKGS rendszer néhány tipus esetét elméletileg és kísérletileg is részletesen elemezzük s ezeket a konkrét modellekre egyszerűen adaptáljuk. A folyamat tervezésekor az adaptált modell alapján határozzuk meg a forgácsolás paramétereit és szolgáltatjuk az automatikus felügyelet részére szükséges adatokat. A rezgésfelügyelet automatizálása úgy válik lehetővé, ha a modellre alapozott a priori ismereteket méréssel, frekvenciaanalízissel egészítjük ki.

A tervezés és a gyártás során elsősorban az $n - f$ paramétersíkban felvett stabilitástérképre van szükségünk (3.21. ábra).

A későbbiekben a modell bonyolításával kell folytatni vizsgálatainkat. A mechanikai hiszterézis, a nem lineáris rugókarakterisztikák figyelembe vétele, a munkadarab és a szerszám rugalmas kontinuumként való kezelése és a pontosabb erőösszefüggések alkalmazása látszik a legfontosabbnak.

3.7.3. A forgácsolási paraméterek meghatározásának matematikai modellje

A kérdést a szerzőnek Somló Jánossal írott könyve [119] részletesen tárgyalja. A könyvben alkalmazott modell a szerző munkája.

Továbbfejlesztése több szempontból szükséges, mert forgácsoláselméleti alapjai bizonytalanok, túlzott egyszerűsítéseket tartalmaz a korlátok meghatározásakor és teljesen determinisztikus.

A matematikai modell három összetevőből áll. A célfüggvény határozza meg a gazdasági célt, a korlátozások rendszere pedig a keresési tartományt, azaz a beállítható technológiai adatok halmazát.

A modell harmadik összetevője az éltartam összefüggés, amely beépül ugyan a célfüggvénybe, de célszerű - problematikus volta miatt - külön kezelni.

3.7.3.1. A célfüggvények

Elemi szerszámelmozdulás (fogás) esetében a költségek és a termelékenység csak a forgácsolás paramétereitől és a szerszámkopás intenzitásától függ [119]. Ezért az elemi determinisztikus célfüggvény költségre és egységnyi elmozdulásra

$$K = \frac{C_M}{nf} \left(1 + \frac{C_T}{T}\right) \rightarrow \min, \quad (3.36)$$

ahol

C_M - a gép percköltsége Ft/min

n - fordulatszám, 1/min

f - előtolás, mm/ford

$$C_T = \frac{K_{sz}}{C_M} + t_{cs}$$

K_{sz} - egy éltartamra eső szerszámköltség, Ft

t_{cs} - szerszám csereidő/min

T - éltartam, perc.

A legnagyobb termelékenységre hasonló feltételek mellett a

$$t = \frac{1}{nf} \left(1 + \frac{t_{cs}}{T}\right) \rightarrow \min \quad (3.37)$$

célfüggvényt kapjuk. A determinisztikus modell nagy hibája, hogy - a folyamat sztochasztikus jellege miatt - a korlátokat

a pesszimális feltételekre állítja be, ezért veszteségeket okoz. A megfelelő korlátokat (erő, teljesítmény, kopás, rezgés, nyomaték, érdesség stb) valószínűségi változókként kezelve, sűrűség- és eloszlásfüggvényeik, valamint a selejtképződésből eredő veszteségek ismeretében új célfüggvényeket fogalmazhatunk meg. Ezekben az intenzívebb megmunkálásnak megfelelő kisebb költség (vagy idő) és a selejtképződéssel arányos költség-(vagy idő-) veszteség összegének minimumát keressük, pl

$$K = K_d + \sum_{i=1}^n \alpha(A_i) P(A_i) \rightarrow \min \quad (3.38)$$

ahol

K_d - a megmunkálási költség (3.36) szerint

$\alpha(A_i)$ - az A_i korláttúllépésből származó selejtkár

$p(A_i)$ - az A_i selejtokozó esemény valószínűsége a felvett korlátok mellett.

Többfogásos megmunkálás esetében a műveletelem költségfüggvénye

$$K_{me} = \sum_{j=1}^k \frac{C_M L_j}{f_j n_j} \left(1 + \frac{C_T}{T_j} + \frac{C_M l_j}{f_{vj}} + C_M t_{vj} \right) \rightarrow \min \quad (3.39)$$

ahol

k - a fogások száma

L_j - a fogáshossz

l_j - a visszafutási úthossz

f_{vj} - a visszafutási sebesség

t_{vj} - a fogással járó mellékidők (kapcsolás, pozicionálás stb)

A teljes művelet költsége

$$K_m = \sum_{i=1}^m K_{mei} + C_M t_{bk}$$

ahol

m - a műveletelemek száma

t_{bk} - a munkadarab be- és kifogásával kapcsolatos idő

A művelet szintjén már felmerülhet a legnagyobb nyereség, mint gazdasági cél. Ha készletezés céljából gyártunk, akkor a legnagyobb nyereségráta hozza a legjobb gazdasági eredményt. Feltételezve, hogy az árbevétel nem függ a költségektől, a legnagyobb nyereségráta célfüggvénye

$$p = \frac{B - K_m}{t_m} \rightarrow \max \quad (3.41)$$

ahol

p - a nyereségráta

K_m - a teljes műveleti költség, Ft

t_m - a teljes műveleti idő, perc

B - árbevétel, Ft

A legnagyobb nyereségráta eredményeként a lehető legnagyobb lesz a valamely időszak (pl. egy év) alatt elérhető nyereség-tömeg.

Előfordulnak esetek, amikor az idő, vagy a költség valamely összetevője szerepel célként. Az ilyen részleges célfüggvények az általánosakból könnyen leképezhetők.

3.7.3.2. A feltételrendszer

A determinisztikus modellben adott fogásmélység mellett a logaritmálással linearizálható feltételrendszer korlátjainak általános alakja (3.22.ábra)

$$b_{1j} \leq y_j \log f + z_j \log n \leq b_{2j}$$

A korlátok többségét a [119] részletesen tárgyalja.

Linearizálható korlátokat kaphatunk a forgácstörésre, amelynek különösen felügyelet nélküli gyártórendszerben van jelentősége. Elméleti összefüggések nem ismeretesek, de a nagy szerszámgyártó cégek kísérletek alapján állítanak elő görbeseregeket, amelyek kijelölik az egyes anyagokra azokat az a és f tartományokat, amelyekben a forgács törik (3.23.ábra). Ezekből a forgácsolási sebességtől való függést is figyelembe véve előállíthatók az új korlátok (3.24.ábra).

A mérethiba általában beállítással kompenzálható. Az alakhiba viszont korlátként szerepel, ezt azonban explicit formában csak nagyon durva egyszerűsítésekkel, az MKGS-rendszer valós modelljének feláldozásával fejezhetjük ki [118]. A korláthoz úgy juthatunk el, hogy különböző - pl. egyre növekvő - előtolás és sebesség értékekre megoldjuk a (3.34) egyenletet, és azokat az f és v értékeket fogadjuk el korlátként, amelyek mellett a hosszmetszeti alakhiba még nem lépi túl a megengedett értékeket.

A keresztmetszet alakhibája azonos feltételek mellett sokszorta kisebb, mint a hosszmetszeté. Ezért ezt a korlátot a (3.35) összefüggésnek megfelelően csak akkor kell meghatározni, ha a keresztmetszet alakjára különleges előírások, szigorú tűrések érvényesek. Az alakhiba korlátok általában nem linearizálhatók.

A folyamat stabilitása az MKGS rendszer modelljének dinamikus analízise révén tartható kézben. A modell különböző morfológiai struktúrájú, merevségű gépekre, munkadarabokra, szerszámokra és megmunkálásokra való felállítással, elemzésével kimutathatók az egyes típusesetek jellegzetességei, a meghatározó szabadságfokok, merevségi jellemzők. Sok elméleti és gyakorlati vizsgálat eredményeként tehát a modell és a számítások egyszerűsíthetők. Most azonban, a 3.5. Mellékletnek megfelelően határozzuk meg a stabilitástérképet, amelyet korlátként bevetítünk a $\log n - \log f$ paramétersíkba (3.25. ábra).

A megengedett felületi érdességből eredő előtoláskorlátot már a FORTAP pontosan kezelte esztergáláskor. Az alakképzési folyamat egzakt kezelésével más eljárásokra is jól megalapozott korlátokat nyerhetünk.

Egyelőre nem látszik megoldhatónak a forgácsolási zóna hőmérsékletének meghatározása, a munkadarabba áramló hőmennyiség olyan korlátozása, hogy a beégéseket, mikrorepedéseket megelőzzük. Az ismert összefüggések [119] csak a jelenség minőségi jellemzésére alkalmasak. Különösen fontos a kérdés vizsgálata edzett alakos

alkatrészek (pl.fogazatok) köszörülésekor [120].

A még ismeretlen alakú korlátokat is figyelembe véve általános esetként a nem linearizálható, konkáv feltételrendszert foghatjuk fel. A korlátozások egy részét valószínűségi változóként kezelve alakul ki a valóságos viszonyokhoz közelítő keresési tartomány (3.25.ábra) a folyamat sztochasztikus modelljére.

3.7.3.3. A szerszám éltartama

A szerző már egyik korai munkájában [121] felhívta a figyelmet az éltartammal kapcsolatos problémákra. Ezek között magának a fogalomnak alig kifejező volta, az "optimális" éltartam fetiszizálása és a Taylor-féle éltartamegyenlet okozzák a legtöbb elméleti és gyakorlati gondot. Az optimálás feladatát Somló János általánosan oldotta meg [122] a Taylor-, sőt a König-féle éltartamegyenletre is [39].

Az éltartam tulajdonképpen semmit sem fejez ki a forgácsolás gazdaságosságáról, sőt még a kopás intenzitásáról sem, hiszen csak a két szerszámcsere közötti aktív forgácsolási időt adja meg, amiből direkt módon még csak következtetni sem tudunk a leválasztott anyagmennyiségre, a forgácsolási útra.

A valóságos, kísérleti úton (igen drágán) előállított éltartamgörbe (3.26.ábra) igen bonyolult alakú, a kopás bonyolult jellegének, a különböző kopásmódok (abrazív, adhezív, diffúz) paraméterfüggő intenzitásának megfelelően. Kifejezőbb lenne a $\log L - \log v$ görbe, (3.27.ábra), ahol

$$L = T \cdot v,$$

amely a megengedett kopás bekövetkeztéig megtett forgácsolási utat jellemzi. A forgácsolási út arányos az éltartamciklus alatt leválasztott anyagmennyiséggel és a folyamat objektív minőségi jellemzője lehet.

A Taylor-féle éltartamegyenlet még kibővített

$$T^m = \frac{C_v}{v \cdot f^{YV} \cdot a^{XV}}$$

alakjában is csak a forgácsolási paraméterek igen szűk változási tartományában adhat elfogadható közelítést (3.28 ábra). A König-féle közelítés szélesebb tartományon lehet érvényes, de csak a görbe leszálló szakaszán.

Minden ismert éltartam összefüggésről elmondható, hogy nem nyúl le a jelenség gyökeréig (a kopásig) és csupán a kísérleti éltartamgörbékre több-kevesebb pontossággal illesztett görbékét írja le. A legtöbb összefüggésben a kopás megengedett értéke sem szerepel, s ha igen, akkor is csak korrekciós tényező alakjában.

Pedig az éltartam jól leírható a megengedett kopás, a kopás intenzitása (sebessége) és a forgácsolási út segítségével. A kopást (kopásmódtól függően mm, μm , mm^2) egységnyi úthosszra (m, km stb) értelmezve kapjuk pl. a

k mm/km, mm^2/km , $\mu\text{m}/\text{km}$ stb

kopásintenzitást. Az intenzitásra a legnagyobb hatást a forgácsolási sebesség gyakorolja. Jellegzetes görbét mutat be a 3.29. ábra. Hasonló görbék ugyanolyan módszerrel nyerhetők, mint az éltartamgörbék, sőt egyszerűbben, mert a különböző v sebességek mellett mért Δ_0 kopásértékeket egyszerűen osztani kell a könnyen számítható L utakkal.

Az éltartam összefüggés nagyon egyszerűen levezethető. Ugyanis az értelmezésből eredően

$$\Delta = kL = 10^{-3} k v t \quad (3.43)$$

és

$$T = 10^3 \frac{\Delta_m}{kv} \quad (3.44)$$

ahol

Δ_m - a megengedett kopás.

A k az időnek, azaz a forgácsolási útnak, vagy a megengedett kopásnak is függvénye (akkor is, ha a fentiekhez hasonlóan az átlagos intenzitást alkalmazzuk, akkor is, ha a pillanatnyi kopásintenzitással operálnánk), mint ahogy az a kopási folyamatból törvényszerűen következik (3.30. ábra). A (3.44) összefüggés akkor válik a gyakorlatban is alkalmazható éltartam egyenletté, ha elő tudjuk állítani a

$$k = k(a, v, f, \Delta, \dots)$$

egyenletet. Ez tulajdonképpen az anyagtudomány feladata lenne. Amíg a feladatot természettudományos alapokon meg nem oldják, meg kell elégednünk azzal, hogy a $k(\Delta)$, $k(v)$ stb. kísérleti görbékre illesztünk közelítő görbéket, majd felületeket (3.31. ábra).

A $k(v)$ és a $k(\Delta)$ görbe leírása a legfontosabb. A $k(v)$ görbe

$$k(v) = \frac{C_1}{v} + C_2 v^2 + C_3 v + C_4$$

vagy

$$k(v) = \frac{C_1}{v} + C_2 + C_3 v \quad (3.45)$$

vagy

$$k(v) = C_1 v^{C_2} e^{C_3 v}$$

tipusú egyenletekkel jól közelíthető.

A $k(\Delta)$ görbék

$$k(\Delta) = \frac{C_1}{\Delta} + C_2 \Delta^2 + C_3 \Delta \quad (3.46)$$

vagy

$$k(\Delta) = C_1 \Delta^{C_2} e^{C_3 \Delta}$$

alakban közelíthetők.

Bonyolultabb kérdés a teljes éltartamegyenlet felírása, hiszen bonyolult hiperfelület illesztéséről van szó. A $k(\Delta, v)$ függvény úgy állítható elő, hogy a $k(v)$ görbét illesztjük a $k(\Delta)$ görbére, azaz az C_1, C_2, C_3 és C_4 konstansokat $C_1(v), C_2(v), C_3(v)$ és $C_4(v)$ alakban állítjuk elő. Tehát a felületet - ha a (3.46) alakú $k(\Delta)$ közelítést alkalmazzuk - a

$$k(v, \Delta) = \frac{C_1(v)}{\Delta} + C_2(v) \Delta + C_3(v) \Delta^2 + C_4(v) \Delta^3$$

alakban írhatjuk le.

A görbeillesztésekre egyszerű számítógépi programok írhatók, a $k(v)$ és $k(\Delta)$ görbék diszkrét értékei pedig a kísérleti adatokból könnyen számíthatók. Így a $\Delta(v, L)$ adatokból közvetlenül előállíthatók az éltartam és a teljes szerszámút meghatározására alkalmas egyenletek.

Természetes, hogy sem az egyenletek előállítása, sem alkalmazása nem "kézi" módszereket feltételez. A közelítő számítások és a T, L értékek meghatározása elvégezhető a legegyszerűbb mikroszámítógéppel, így a javasolt összefüggések gyakorlati alkalmazásának ma már nincsenek technikai akadályai.

A Gépipari Technológiai Intézetben a javasolt módszer ellenőrzésére kísérleteket végeztünk még a hatvanas évek végén, a hetvenes évek elején. A kísérleti munkát dr. Tóth Tibor irányította. Kísérleti feltételek: anyag C60, szerszámanyag A jelű keményfém, $a=2$ mm, $f=0,2$ mm/ford, $\kappa=70^\circ$, $\delta_B=690$ N/mm²). E feltételek mellett a csúcskopás intenzitására a

$$k_{CS} = \frac{81360 - 1890v + 15.9v^2}{\Delta} + (3.28 \cdot 10^{-6} - 306 \cdot 10^{-9}v^2)\Delta^2 + (2.05 \cdot 10^{-3} + 1.64 \cdot 10^{-3}v - 19.35 \cdot 10^{-6} \cdot v^2)\Delta \text{ } \mu\text{m/km} \quad (3.47)$$

összefüggést kaptuk. Megelégedve az előtolás és a fogásmélység hatásának taylori pontossággal való tükrözésével az éltartamra a

$$T = \frac{10^3 \Delta_m}{1.28 a^{0.18} \cdot f^{0.23} \cdot k_{CS} \cdot v} \quad (3.48)$$

és az éltartam alatt megtett úthosszra az

$$L = \frac{10^3 \Delta_m}{1.28 \cdot a^{0.18} \cdot f^{0.23} \cdot k_{CS}} \quad (3.49)$$

kifejezést kapjuk, ahol a k_{CS} -t a (3.47) szerint értelmezzük.

A 3.32. és a 3.33. ábra bizonyítja, hogy mind a $k(v)$, mind $k(\Delta)$ közelítő függvénye jól illeszkedik a kísérleti eredményekhez.

Az éltartam egyenletet a célfüggvényekbe helyettesítve megkapjuk a matematikai modellt feldolgozásra kész állapotban. Könnyen belátható, hogy a költség, vagy időfelületnek vannak globális szélsőérték helyei, ezért Somló unicitástétele és optimum-ésélyes határok tétele esetünkben nem érvényes. Az optimálásra is más módszert kell keresnünk, hacsak nem sikerül úgy csonkítani a keresési tartományt, hogy a Somló-tételek érvényesek és a Somló-féle optimálási algoritmusok alkalmazhatók legyenek. Az ilyen csonkításra a szerző nem lát lehetőséget.

A $k(a, v, f, \Delta, \dots)$ alakban felvett kopásintenzitás összefüggés segítségével jól lehet prognosztizálni a szerszám "maradék" éltartamát, vagy éltartam tartalékát. Ha valamely t_1 időpontban Δ_1 kopást mérünk, akkor a szerszámcsereig várható maradék éltartam és szerszámút a

$$\Delta T = \frac{10^3}{v} \left(\frac{\Delta_m}{k_{\Delta m}} - \frac{\Delta_1}{k_{\Delta_1}} \right)$$

és a

$$\Delta L = 10^3 \left(\frac{\Delta_m}{k_{\Delta m}} - \frac{\Delta_1}{k_{\Delta_1}} \right)$$

összefüggésből jó biztonsággal meghatározható. A problémának különösen nagy jelentősége van olyan felügyelet nélküli gyártórendszerekben, amelyekben a kopás időszakos vagy folyamatos mérése megoldott. A számított ΔT -t vagy ΔL -t a következő munkadarab által "fogyasztott" éltartamhányaddal vagy szerszámúttal összevetve dönthető el, hogy szabad-e még várni a szerszámcsereével. A szerző irányításával készült diplomaterv [123] a kopást alakfelismerő rendszer segítségével javasolja mérni. A rendszer [124] által szolgáltatott kopásértékek alapján a felügyelő program a (3.49) összefüggés segítségével vizsgálja a szerszámcsere esedékességét.

Meghatározható a szerszám maximális éltartama és az ahhoz tartozó forgácsolási sebesség a

$$\frac{\partial T}{\partial v} = 0 \text{ és a}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial v^2} < 0$$

összefüggésekből.

Még érdekesebb és a gyakorlatban is hasznosítható a legnagyobb elérhető szerszámút, amely a

$$\frac{\partial L}{\partial v} = 0$$

összefüggésből határozható meg.

Az L_{\max} lehet a különböző szerszámok forgácsolóképeségének jellemzője, ha azonos körülménynek között határozzuk meg.

Célfüggvényként is szolgálhat az

$$L \rightarrow \max$$

kifejezés olyan esetekben, amikor a szerszám kimérése a legfontosabb szempont, mert nem pótolható.

3.7.4. Szerszámmozgások modellezése

A forgácsoló megmunkálás szerszámmozgásai három csoportba oszthatók. A szerszám üresjáratú mozgásai, amelyek célja a megmunkálás kezdőpontjának, vagy a kezdőpont közvetlen környezetének megközelítése, akadályok kikerülése, szerszám-váltási, vagy -cserélési helyzet elfoglalása, mérési ciklusok megvalósítása.

A második mozgáscsoportba a forgácsoló munkamenetek tartoznak, míg a harmadik csoportot a sokfogásos megmunkálások fogások közötti olyan mozgásai alkotják, amelyek célja kiemelés biztonsági távolságra, visszafutás a következő fogás kezdőpontjának

környezetébe és beállítás a következő kezdőpontra (3.34.ábra). Ezeket célszerű a munkamenetekkel egy modellben kezelni.

A vezérlések automatikusan korrigálják a szerszámméreteket, ezért célszerű nulla sugarú és hosszúságú szerszámra számítani a mozgásokat. Kivételt e tekintetben a háromnál több-tengelyes szerszámgépek képeznek, amelyek esetében egységnyi sugarú és hosszúságú szerszámra kell a mozgásokat számolni. A vezérlések a szerszámkorrekciókat valós időben számítják. Széles, nem forgásszimmetrikus szerszámok esetében a szerszám csúcsát egyezményesen értelmezzük.

3.7.4.1. Üresjáratú mozgások

Összefoglalásukat a 3.35.ábra mutatja. A munkamenetek a felülettől normális irányban mért biztonsági távolságban kezdődnek. Ezért a közelítő és távolító szerszámmozgások e pontig (síkig) tartanak, illetve ott kezdődnek. A koordináták a megfelelő mozgásirányokat jelzik. Összetett mozgásciklusok (pl. új megmunkálási kezdőpont megközelítése egy előző megmunkálás végpontjából) a négy alapesetből összeépíthetők. A probléma természetesen nem ilyen egyszerű, ha az automatikus tervezés során el akarjuk kerülni a szerszám felesleges "táncoltatását". Erre olyan esetekben kerülhet sor, amikor az előző végpont és az új kezdőpont valamely koordináta irányban közel esik egymáshoz. Az ilyen szituációk felismerése rendkívül összetett feladat, amely csak a mozgástervezés késleltetésével oldható meg, hiszen be kell várni az új műveletelem paramétereinek és az új kezdőpont koordinátáinak meghatározását. A FORTAP-ban ezt a problémát rendkívül árnyaltan kezeltük, s az összekötő mozgások "simasága" nem marad el a "kézi" tervezés eredményeitől. Ára is van, persze: az üresjáratok tervezése a legnagyobb mozgástervező modul az egész rendszerben.

3.7.4.2. Megmunkálási mozgásciklusok

A legösszetettebb esetekben hat mozgáscsoportból állnak a megmunkálási mozgásciklusok. A nehezen hozzáférhető megmunká-

lási helyek esetében a kezdőpontra állás is a ciklus része. A munkameneti ciklus - egy fogás végrehajtása - legalább egy, legfeljebb négy elemi mozgásból áll. Az üresjárat mozgások tervezését leegyszerűsíti, ha a megmunkáló mozgások után a szerszám mindig biztonságos helyzetbe kerül, ahonnan szabadon mozgatható tovább, így a kiemelés is része lehet a ciklusnak. A teljes mozgásciklust a 3.36 ábrán mutattuk be. A 3.37.ábra olyan esetet illusztrál, amely magában foglalja a kezdőpont megközelítését, majd a forgácsolás után a biztonságos helyzetbe való kiemelést is. Az igazán intelligens rendszer (pl.FORTAP) a mozgások lehetséges összevonását (kiemelés) itt is végrehajtja. A példa egyúttal kitűnően érzékelteti azt is, hogy miért kell a műveletelemek paramétereit között a környezethez való csatlakozás feltételeit is (jelen esetben m_h) szerepeltetni.

A kezdőpont megközelítésének és a szerszám biztonságos helyzetbe való kiemelésének módját, pályáját a műveletelem (helyesebben azok homogén csoportjának) típusa határozza meg. E mozgásokat a szerszám általában gyorsmenetben valósítja meg. Kivételt képez esetenként a 4-, 5- és 6-tengelyes megmunkálás, sőt a többfogósos síkbeli teraszolás is, amikor a szerszám "anyagban" áll a kezdőpontra, vagy vesz új fogást.

Maga a munkamenet - amelynek pályáját a mozgástervezés határozza meg - általában több elemi elmozdulásból áll. Ez utóbbiak egyenes szakaszok és körívek. A körívek, vagy egyes szakaszok hosszát - ha azok bonyolultabb görbéket közelítenek - a tűrésmaradvány alapján kell meghatározni. A teljes tűrést "fogyasztják" a 3.7.1.pontban tárgyalt hibák, a maradvány tovább zsugorodik azért mert a szerszám aktív profilja nem követi a felület alakját ("taréjképződés" teraszok, vagy barázdák között) s csak a tűrés kis hányada marad az interpolációs és egyéb törvényszerű hibák lefedésére. Az elemi mozgásvektorok, valamint a szerszámméretek figyelembevételére szolgáló korrekciós vektorok aktuális értékeinek meghatározása e tervezési szakasz feladata. Ide kell sorolnunk a szerszám olyan beállítási adatainak meghatározását is, amelyek mellett a

gyártási hibák a lehető legkisebbek lesznek.

Néhány érdekes esetet a következő pontokban részletesebben megvizsgálunk.

3.7.4.3. Mozgás- és korrekciós vektorok meghatározása öttengelyes marógépen

Az öttengelyes marógép lehetővé teszi, hogy a szerszám tengelye a megmunkálandó felület aktuális normálisához képest mindig meghatározott helyzetben legyen. Leggyakoribb, hogy a szerszám tengelyének iránya azonos a normálisával (homlokmarás), vagy párhuzamos az aktuális érintősíkkal (palástmarás), de előfordul az is, hogy két tengely valamely nullánál nagyobb, de 90° -nál kisebb szöget zár be (gömbmaró). Az első két esetben - elemi számításokkal könnyen igazolhatóan - többszörösre növekszik a termelékenység a háromtengelyes megmunkáláshoz képest, a harmadik esetben viszont gyökeresen javulnak a forgácsolási feltételek. Az öttengelyes megmunkálás előnyei különösen szembetűnőek vonalfelületek és egyenes generátorú transzlációs felületek esetében, általában akkor, amikor a szerszám homlokával, vagy hosszú palástfelületével állítjuk elő a végleges felületet.

A 3.5.Mellékletben kifejtettük a mozgás- és korrekciós vektorok meghatározásának módját különböző felépítésű öttengelyes marógépek esetében. A pillanatnyi helyzet és a munkadarabon értelmezett következő célpont ismeretében számíthatók a növekmények mindhárom lineáris és a két rotációs tengely irányában. Az öt elemi elmozdulásnak egyszerre kell kezdődnie és befejeződnie. Lineáris interpolációt alkalmazva a mozgások mindegyik tengely mellett egyenletesek, így a tengelyek menti sebességek számíthatók, ha az elemi növekményeket osztjuk a kívánt előtolás és a munkadarab felületén mért eredő elmozdulás értékéből számított idővel.

A kopás és a szerszámméret más okokból való változásának kompenzálása érdekében a mozgásvektorokat egységnyi sugárú és hosszúságú szerszámra célszerű számítani. A valós szerszám-

méretekre vonatkozó mozgások eltérőek lesznek. Ezért a szerszámgép vezérelt pontjának X_{vez} , Y_{vez} , Z_{vez} koordinátáit, a ΔX_{vez} , ΔY_{vez} , ΔZ_{vez} , ΔA , ΔB , ΔC növekményeket és az X'_{vez} , Y'_{vez} , Z'_{vez} , A' , B' , C' sebességvektorokat a vezérlésnek valós időben kell számíttatnia. Ha figyelembe vesszük, hogy valós időben kell a koordináta transzformációkat is végeznie, nyilvánvalóvá válik, hogy az öttengelyes vezérlés számítógépségének nagyon gyorsnak kell lennie.

Az elemi növekmények a tűrés és a hibák összevetéséből számíthatók. A tűrésnek - mint fentebb említettük - itt már csak egy töredékével számolhatunk. E maradványt három újabb hibaösszetevő fogyasztja. Ezek egyike, az interpolációs hiba triviális; mindig előfordul, amikor a szerszám pályája (esetünkben az egyenes) eltér a közelíteni kívánt görbétől.

Kevésbé triviális az a hiba, amely abból származik, hogy az öt mozgásösszetevővel még a közelítő felület előállításához szükséges eredő mozgást sem tudjuk megvalósítani, a szerszám "elmarad", vagy "belemar" a közelítő felületbe. Ennek a hibának egy-egy elemi mozgáson belül értelmezett maximuma explicit formában nem fejezhető ki (3.5. Melléklet), ezért itt is iterációra van szükség, az interpolációs hiba kézbentartásához hasonlóan.

A harmadik hibát a szerszám mérete okozza és a vonalfelületek megmunkálására jellemző. Abból ered, hogy a vonalfelület normálisai egy-egy alkotó mentén nem párhuzamosak egymással, s így a szerszámot (az ujjmaró palástját) nem tudjuk úgy ráhelyezni az alkotóra, hogy az alkotó mentén végig érintőleges legyen a felülethez (3.38 ábra). A hiba annál nagyobb - egyéb változatlan feltételek mellett - minél nagyobb a szerszám sugara. A hiba a szerszám helyzetének változtatásával nem csökkenthető, de előnyösebben (pl. szimmetrikusan) elosztható. Természetesen interpolációs eszközökkel sem csökkenthető. Egyetlen módja a hiba csökkentésének a szerszám átmérőjének csökkentése. Nulla átmérőjű szerszám esetében ilyen hiba nem lép fel.

3.7.4.4. Soktengelyes gyalulás, vésés, esztergálás és köszörülés

A gyalulás, vésés, esztergálás és köszörülés alkalmazásakor valósítható meg a "kisátmérőjű" szerszám alkalmazása. A szerszám átmérője ott ugyanis nem más mint a kés (korong) csúcsköre. A vonalfelületeket a generátor mentén gyalulva, vésve, köszörülve a hibát majdnem nullára csökkenthetjük (a csúcsgár akár néhány tized mm-re csökkenthető). Belátható az is, hogy simításkor ezen eljárások termelékenysége - azonos pontosság mellett - többszöröse a marásénak, hiszen a marás előtolási sebességével a gyalulás forgácsolási sebessége áll szemben.

Görbetengelyű forgásfelületek, pl. csőhajlítószerszámok (3.39. ábra) esztergálásához olyan öttengelyes szerszámgépre van szükség, amelyen két tengely a szerszám, kettő az első csúcs és a szegnyereg mozgatására, egy forgóasztal pedig a munkadarab elforgatására szolgál (3.40. ábra). A forgóasztal mozgatásával a munkadarab görbületét, csúcsok mozgatásával pedig az excentricitást lehet szabályozni. Az excentricitás szabályozásával a forgástengely fedésbe hozható a munkadarab éppen megmunkált metszetének középpontjával. Újabb tengelyek bekapcsolásával változó átmérőjű csavarorsókat, poligon profilokat lehet előállítani.

A numerikus vezérlésű soktengelyes gépekben még nagyon sok kiaknázatlan lehetőség rejlik és nem csak speciális felületek megmunkálására. A teljesen elektronikus kinematikai láncú fogazógépek, fogköszörűgépek is a közeli jövő termékei lesznek.

A soktengelyes megmunkálásnak van két további előnye, amely túlmutat a bonyolult és speciális felületek megmunkálásán, éppen ezért hatása talán még jelentősebb. A soktengelyes gép tetszőleges helyzetű egyszerű felületek (ferde furatok, síkok stb) megmunkálását egy befogásban teszi lehetővé és az a műveletkoncentráció mértékét rendkívüli módon megnöveli. A megmunkálás pontossága is növekszik egyrészt a bázisváltások elmaradása, másrészt a térbeli helyzethibák kompenzálásának lehetősége miatt. A soktengelyes gép tehát a termelékenység és a minőség növelésének eszköze.

3.7.4.5. A szerszám alaphelyzetének meghatározása

A folyamat elemzéséből kiderült, hogy a szerszám alaphelyzetének helyes megválasztásával a hibák csökkenthetők. A szerszámkorrekciók alkalmazásával NC gépeken a szerszám pályák eltolhatók, önmagában azonban a módszer nem elegendő, hiszen minden elemi szakasz szonos mértékben tolódik el. Fontos tehát, hogy az elemi szakaszokat egymáshoz képest helyesen határozzuk meg. A mérethiba akkor lesz a legkisebb, ha a szerszám csúcsának névleges helyzetét pl. a tűrésmező közepére vesszük és azt minden szakaszon módosítjuk a mérethiba (3.33.) szerint számított értékével. Az így tervezett pálya már szerszámkorrekcióval sikeresen eltolható a szerszám méreteinek változásakor.

A vonalfelületek megmunkálásakor a felület alakhibája szerencsésebben oszlik el, ha a szerszám tengelye a két direktrix normálisai által bezárt szög felezőjén van.

3.7.4.6. A hibák csökkentése kváziadaptív módszerrel

A szisztematikus jellegű hibák megelőzhetők a szerszám pálya vagy az előtolás módosításával. A szerszám pálya módosítása a

$$\Delta a_0(x, t) = \frac{\delta_g(x, t) + a_0(x, t)W(x)}{1 - W(x)} \quad (3.50)$$

értékkel elméletileg a rendszeres méret- és alakhibák teljes eliminálásához vezet.

Az előtolás módosítása indirekt módszer, amely az erő változásán keresztül hat a hibák csökkenésére. Segítségével természetesen csak az alakhiba szüntethető meg. Az előtolásmódosítás úgy határozható meg, hogy először állandó előtolásra optimaljuk a forgácsolási paramétereket és meghatározzuk az így keletkező mérethibát a (3.33.) szerint, majd a

$$\delta_m = \delta_g(x, t) + a_0(x, t)W(x) \quad (3.51)$$

összefüggésből minden metszetre megállapítjuk a megengedhető előtolás értékét. Gyakorlatilag elegendő az előtolást néhány helyzetre kiszámítani és valamilyen interpolációs (pl. B-spline) eljárással meghatározni az előtolásfüggvényt. A szerszám alaphelyzetének helyes meghatározásával együtt ez a módszer is alkalmas a méret- és alakhiba együttes megelőzésére. Kézenfekvő lenne a geometriai adaptív szabályozás alkalmazása, azonban nincs megoldva a munkadarab méretének, alakjának közvetlen, in-process mérése. Ezért ma a két elv kombinációja látszik a legcélravezetőbb módszernek: az adaptív irányítással a véletlenszerű, a kváziadaptív vezérléssel pedig a rendszeres hibák korrigálása. Az utóbbi, ha a szerszámpályák módosításával valósul meg, nem teszi szükségessé a "hagyományos" CNC vezérlés átalakítását, hiszen a kváziadaptív elv a programozásban realizálódik.

Sajnos a mai CNC vezérlések nem teszik lehetővé az előtolás függvény szerinti módosítását sem több, sem egy tengely mentén. Nagy kár és nem csak a hibakorrekciók szempontjából. Ha lehetséges lenne esztergagépeken a fordulatonkénti előtolást egy-egy elmozduláson belül tetszőlegesen szabályozni, úgy megoldódna olyan fontos gépelemek gazdaságos gyártása, mint a különböző extruder csigák, palacktöltő gépek csigái, speciális vezérlőelemek stb.

4. AZ AUTOMATIZÁLT TECHNOLOGIAI TERVEZÉS MÓDSZEREI ÉS ELVEI

Az alkatrészgyártás jellegzetesen diszkrét folyamat. E szakaszos folyamatnak kettős lényege van. Egyfelől a munkadarab állapotváltozásainak folyamata, másfelől a változásokat előidéző eljárások rendezett sorozata. A folyamatban objektív a munkadarab kezdeti és végállapota, környezetfüggők viszont az eljárások, berendezések, eszközök.

Az egyes eljárások különböznek egymástól a munkadarabon eredményezett állapotváltozások mértékében, a létrehozott állapotok paramétereiben, a munkadarab kiinduló állapotával szemben támasztott követelményekben, termelékenységekben, fajlagos költségben egyaránt.

Másfelől viszont ugyanolyan állapotváltozások létrehozhatók különböző eljárások segítségével. Ez annyit jelent, hogy egyrészt egy-egy állapotváltozáshoz több eljárás is rendelhető, másrészt az alkatrészgyártás ily módon előálló különböző változatai a munkadarab diszkrét állapotaiban és az állapotváltozások, átmenetek számában is eltérhetnek egymástól.

Minden eljárás sokféle berendezésen, különböző gyártóeszközökkel valósítható meg. A berendezések és gyártóeszközök technológiai teljesítőképessége (termelékenység, alkalmazható eljárások száma, minőségi mutatók stb) és költségjellemzői is széles határok között változnak.

A különböző eljárások, berendezések és gyártóeszközök alkalmazásának költségösszetétele egymáshoz képest változó és jelentősen módosul a gyártás tömegszerűségének függvényében is. Ez a körülmény azt eredményezi, hogy alkalmazásuk gazdaságossági jellemzői változnak attól függően, hogy egyedi, kis-, közép-, nagysorozat, vagy tömeggyártásról van-e szó. Ugyanakkor a gazdaságos alkalmazás tartományai egyértelműen nem jelölhetők ki.

Az eljárások, berendezések, gyártóeszközök termelékenysége és önköltsége általában nincsen összhangban egymással. Éppen ezért

a konkrét gazdasági cél függvényében más és más technológiai változatokat és az alkalmazott eljárások más paramétereit kell előnyben részesítenünk.

Az alkatrészgyártási folyamatnak tehát egy-egy adott technológiai lehetőségekkel jellemzett környezetben is nagyon sok műszakilag azonos, gazdasági tekintetben viszont különböző értékű változata tervezhető meg. E variánsok különbözhetnek egymástól az alkalmazott eljárásokban, azok sorrendjében és paramétereiben, berendezésekben és gyártóeszközökben, a folyamat szakaszolásában. Ez teszi az alkatrészgyártás tervezésének automatizálását rendkívül bonyolulttá.

4.1. Az alkatrészgyártási folyamat sajátosságai

A teljes alkatrészgyártási folyamat igen mélyen tagolt és strukturált. A folyamat sajátosságait a gráfelmélet segítségével tudjuk tükrözni. A technológiai gráf alkalmas a folyamat matematikai modelljének megfogalmazására is.

A t e c h n o l ó g i a i g r á f

A technológiai gráf egyik lehetséges változatában a munkadarab különböző állapotait az A_i csúcsok, az állapotváltozásokat előidéző különböző tevékenységeket, cselekvéseket (megmunkálás, helyzetváltoztatás stb) a csúcsok közötti T_i ívek (élek, átmenetek) jelzik (4.1.ábra). Ha a gyártási folyamatot teljes részletességgel le akarjuk írni, akkor minden állapotváltozást, minden időt, költséget igénylő cselekvést be kell építenünk a gráfba. Ilyen értelemben tehát különböző állapotokat eredményeznek nem csak a megmunkálások, hanem a munkadarab hely- és helyzetváltoztatásai, az ellenőrzés és mérés is. Fontos, hogy az állapotot mindig a teljes munkadarabra értelmezzük. Ezzel magyarázható, hogy a gráf egy csúcsból (A_0) indul (amely az előgyártmányt jelzi) és egy csúcsban (A_n) végződik.

Jeleztük, hogy az egyes eljárások különböző mértékű állapotváltozásokat képesek létrehozni. (Talán elegendő meggyőző példa gyanánt a síkköszörülés és síkmarás összevetése. Igen gyakran

alkalmazzuk a köszörülést bázisfelületek megmunkálására úgy, hogy egy műveletben, egy felfogásban valósul meg a nagyolás, simítás, sőt finommegmunkálás is. Marás esetében az azonos mértékű állapotváltozást három műveletben tudjuk létrehozni.) A különböző hosszúságú ívek megnehezítik a gráf kezelését.

A tevékenységek helyett azok t_i idejét, vagy K_i költségét is ábrázolhatjuk és így már megfogalmazható a matematikai modell.

A gráf sok technológiai változatot ír le. Egy-egy változatban csak egy úton juthatunk el az A_0 állapottól az A_n állapotba. A gráfnak e fontos tulajdonságát modellünknek tükröznie kell. Ragadjuk ki az S_k gráfszakaszt, amelyen már a költségeket ábrázoltuk (4.2. ábra). A párhuzamos útszakaszokat az x Boole-változó alkalmazásával zárhatjuk ki a folyamatvariánsokból. Ennek értéke

$$x_i = \begin{cases} 0 & i = 1, \dots, N-1, N \\ 1 & \end{cases}$$

(ahol N a gráf éleinek a száma) attól függően, hogy valamely él része-e az aktuális útnak (1), vagy sem (0). A kiragadott részletre felírhatjuk az

$$x_1 + x_5 + x_6 = 1$$

$$x_2 + x_5 + x_6 + x_7 = 1$$

(4.1)

$$x_3 + x_5 + x_7 + x_8 = 1$$

$$x_4 + x_5 + x_8 = 1$$

feltételeket. Hasonló összefüggéseket kell írunk minden olyan szakaszra, amelyen párhuzamos ívek vannak. Ezek tulajdonképpen korlátozások, amelyek figyelembe vételével kell a legjobb utat (legkedvezőbb változatot) megkeresnünk. Ha a költséget úthosszként fogjuk fel, akkor a legrövidebb út lesz a legjobb, azaz a feladat célfüggvénye

$$K = \sum_{i \in N} K_i x_i \rightarrow \min \quad (4.2)$$

lesz.

A gráf alapján elő tudjuk állítani a technológiai folyamat mátrixát is. A 4.3.ábrán csak az S_k szakasz mátrixát ábrázoljuk, mivel a lényegét jól visszaadja. Az irányított gráf csúcsai közötti átmeneteket 1-gyel jelöltük, a 0 az átmenet hiányát jelzi.

A (4.1) és (4.2) nem más, mint a folyamat optimálásának matematikai modellje. Ha az élek az időket reprezentálják, úgy a célfüggvény

$$t = \sum_{i \in N} t_i x_i \rightarrow \min \quad (4.3)$$

lesz, miközben a (4.1) összefüggések érvényben maradnak.

Amennyiben tehát elő tudjuk állítani a lehetséges, vagy az optimumesélyes folyamatváltozatokat, úgy speciális vagy általános optimálási módszerekkel ki tudjuk választani a legjobbakat. Az optimálás már operációkutatási feladat (legrövidebb út). Technológiai feladat viszont a lehetséges megoldások, azaz a gráf előállítás és mivel még egyszerűbb alkatrészek esetében is bonyolult feltételek figyelembe vételével kell igen nagy gráfot felépíteni, a teljes alkatrészsre megfogalmazott feladat óriási mérete miatt megoldhatatlanná válik.

A feladatot tehát dekomponálnunk kell. Az ismerttetett gráfot nem az alkatrészsre, hanem annak egyes felületcsoportjaira építjük fel és mindegyikre úgy keressük meg a legkedvezőbb gyártási sorrendeket, mintha csak azt az egyetlen felületcsoportot kellene megmunkálni, amelyiket éppen vizsgálunk. Így előállnak az egyes felületek $A_1, A_2, \dots, A_K, B_1, \dots, B_l, C_1, \dots, C_m$ stb különálló és önmagukban legjobb gyártási sorrendjei. Ezek birtokában térhetünk át a teljes alkatrész legjobb gyártási sorrendjének vizsgálatára, úgy hogy felépítjük az alkatrészgyártás gráfját (4.4.ábra). Ezek az A_i, B_j, C_n stb csúcsok az előző lépésben legjobbnak talált megmunkálásoknak felelnek meg, a csúcsokat összekötő "T" élek pedig azokat a "költségeket", amelyek két csúcs összekötésével kapcsolatosak. E költségek egy része valóban felmerül az egymást követő megmunkálások közötti kiegészítő tevékenységek (szállítás, befogás, kifogás

stb) kapcsán, más részük pedig az átmenetek "jóságát" tükrözi, azaz alacsony "költséggel" jutalmazza a preferált, és igen magas költségekkel bünteti a nem javasolt átmeneteket. Az átmenet költsége nulla, ha nincs tényleges tevékenység a preferált átmeneten, és végtelen, ha az átmenet nem lehetséges. Az első típusú gráfon a legrövidebb utat kerestük a kezdő és végállapot között. A második gráfon viszont minden csúcson át kell haladnunk, hiszen az összes megmunkálást végre kell hajtani ahhoz, hogy a munkadarab elkészüljön. A teljes út viszont akkor a legjobb, ha legrövidebb. Itt tehát utazóügynök típusú feladattal van dolgunk, amelynek célfüggvénye

$$\sum_i \sum_j \sum_k T_{ij} X_{ijk} \rightarrow \min \quad X_{ijk} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \text{ minden } i, j, k\text{-ra} \quad (4.4)$$

a korlátozásokat pedig a

$$\begin{aligned} \sum_j X_{1j1} = 1, X_{1jk} = 0, k \neq 1; \quad \sum_k X_{ijk} \leq 1 \text{ minden } i, j\text{-re}; \quad \sum_i X_{ijk} = 1 \text{ minden } i, k\text{-ra} \\ \sum_i X_{i1n}, \quad X_{i1k} = 0, k \neq n; \quad \sum_i X_{ijk} = 1 \text{ minden } j, k\text{-ra}; \quad \sum_i X_{ijk} = \sum_{j'} X_{jj'k+1} \end{aligned} \quad (4.5)$$

összefüggések írják le

Mindkét gráf egy sor tervezési feladat és művelet eredményeként jön létre, s tulajdonképpen fontos tervezési szakaszok, szintek végeredmény előtti utolsó részeredményét ábrázolja. Azaz létre kell hoznunk a lehetséges megoldások halmazát és minden úthoz költségeket is kell rendelnünk. A költségek pedig az eljárás \rightarrow berendezés \rightarrow szerszám \rightarrow mozgásjellemzők \rightarrow sorrend tervezési lánc végén válnak pontosan ismertté. A feladatot méretei miatt dekomponálnunk kell és ez szintek közötti és szinteken belüli dekompozíciót is jelent. A tervezést szükségszerűen a magasabb szinten kell kezdeni és fokozatosan kell haladni az alsóbb szintek felé. Az előtervezés meghatározza az előgyártás, alkatrészgyártás és a szerelés elvi sémáját. Az alkatrészgyártási sorrend tervezése sok művelet funkcióját jelöli ki, egy művelet tervezése pedig sok műveletelemét.

A magasabb szint meghatározza az alacsonyabb tervezési szint célfüggvényét és az optimum keresési tartományát. Az alacsonyabb szint saját korlátjaival tovább szűkíti a feltételrendszert, amely így a kettő közös részévé zsugorodik (4.5.ábra).

Az alkatrészgyártás igen fontos sajátossága, hogy az optimalitás feltétele, a célfüggvény az idő és a pillanatnyi termelési feltételek függvényében változik. A zavarások, a gyártmányok változó prioritásai, az állandóan vándorló szűk keresztmetszetek miatt igen gyakran előfordul, hogy a legmagasabb szint legkisebb költségre, vagy legnagyobb nyereségre értelmezett célfüggvényét valamely alacsonyabb szinten a legnagyobb termelékenységgel lehet szolgálni. A célfüggvény tehát a szintek között általában nem egyszerűen konkretizálódik, részleteződik, hanem változik is. Ezt a körülményt figyelembe kell venni az alacsonyabb szintekre való áttéréskor.

Természetesen fel kell tételeznünk - mint mindig, amikor a dekomponáláshoz folyamodunk - hogy a lokális optimumfeltételek egymástól függetlenek, és jól tükrözik a globális optimumot is.

A technológiai variánsok értékelésére szolgáló becslési kritériumok a magasabb hierarchiai szinteken pontatlanok, hiszen csak a legalsó szinten állnak elő a gyártási tervek olyan részletességgel, hogy a költségek, idők, a nyereség pontosan számíthatók legyenek. A legalsó szint kivételével tehát mindig pontatlan az értékelés. Ezért is, de a célfüggvények és korlátozások gyakori változásai miatt is minden tervezési szinten több technológiai változatot kell kidolgozni. A becslési kritériumok pontosítása lehetővé teszi a nyilvánvalóan nem optimumesélyes változatok elhagyását az alacsonyabb szinteken, ugyanakkor egy-egy optimumesélyes változathoz újabb variáns alakul ki. A variánsok generálása, azok becslés útján való szűrése, a kedvező változatok kifejtése - lehetőség szerint kerülve a tervezési hurkokat - ez a folytonos iteráció jellemzi a tervezést.

4.2. Tervezési feladatok és műveletek

A technológiai tervezés különböző jellegű, típusú részfeladatok megoldásának sokaságát jelenti. A feladatok különböznek egymástól az alkalmazott alaptudományokban, a matematika és a természettudományok alkalmazott fejezeteiben, a megoldások

általánosságában és környezetfüggőségében, a modellek egzakt-ságában, méreteiben, a tervezéshez szükséges tudás és információk teljességében vagy hiányos voltában, az alkalmazott tervezési műveletekben.

A korszerű gépgyártástechnológia, különösen a gyártási folyamatok tervezése magas szinten automatizált, intelligens irányítású gyártási környezetben szinte mágnesként vonzza a legújabb matematikai és természettudományos eredményeket. Az alaptudományok művelői is szívesen fordulnak a gépgyártástechnológiához, mert igényes és összetett alkalmazást remélnek. E várakozásban rendszerint nem is csalódnak, sőt igen gyakran előfordul, hogy a gyártási folyamatok bonyolultsága meghaladja a kínálkozó elemzési és megoldási módszerek lehetőségeit. Ilyen esetekben a technológus feladata, hogy elhanyagolással összhangba hozza a modellt, a feladatot a módszerek lehetőségeivel anélkül, hogy az egyszerűsített modell teljesen elszakadna a valóságtól.

A matematikai és természettudományos módszerekkel kezelhető feladatok megoldása a legkönnyebb, még akkor is, ha az alkalmazott apparátusok, a modellek bonyolultak. A legnagyobb nehézséget éppen az ilyen módszerekkel nem leírható, alapvetően a folyamat szintézisét szolgáló döntési, választási, struktúrálási feladatok, a technológiai-technológusi logika és heurisztika tárgykörébe tartozó tervezési műveletek okozzák. E problémákban egészen a legutóbbi időig a technológus - általánosabb célú módszerek, eszközök hiányában - csak a maga tudására támaszkodhatott.

F e l a d a t t í p u s o k , t e r v e z é s i m ű v e l e t e k

Nagyon durva általánosítással a technológiai tervezés közben felmerülő feladatokat az alábbi típusokba sorolhatjuk:

- Geometriai feladatok, amelyek a teljes munkadarab, vagy bizonyos felületek teljes definiálására, a közbenső állapotok meghatározására, a ráhagyások elosztására, ütközésvizsgálatokra, különböző objektumok (gép, munkadarab, készülék, szerszám) síkbeli, térbeli és egymáshoz viszonyított elrendezésére stb. szolgálnak.

Ezek általában jól kezelhető feladatok, kivételt a térbeli elrendezési és ütközésvizsgálati problémák képeznek, amelyek esetében célszerű az interaktív módszereket előnyben részesíteni a determinisztikus megoldások helyett;

- Aritmetikai feladatnak tekintünk minden olyan nem geometriai számítási, méretezési feladatot, amelynek eredménye valamilyen szám, paraméter. Ide soroljuk tehát a mechanikai (statikai, kinematikai, dinamikai, szilárdságtani), hőtani, áramlástan, tribológiai, gépelemtervezési, forgácsoláselméleti stb. feladatokat. A tervezés automatizálása szempontjából szintén nem okoznak nagyobb gondot. Nehézség akkor keletkezik, ha a feladat nagyméretűvé válik (pl. véges elemek módszere). A tervezés kézi, vagy automatizált voltától független az a probléma, hogy a folyamat bonyolultsága miatt a megoldások explicit formában nem mindig állíthatók elő (pl. rezgések, alakhibák);
- Elemzés. Ide soroljuk mindazon feladatokat, amelyek valamely igények, feltételek analízisével kapcsolatosak s amelyek megoldása révén előállnak a választási feltételek (pl. eljárások, szerszámok kiválasztásának kritériumai). A feltételek részint valamely paraméterek tartományait, részint eljárások, objektumok típusait határozzák meg;
- Választás. Ebben a megfogalmazásban feltételhalmazok és megoldáshalmazok egyszerű összerendelését jelenti, azaz legtöbbször egyszerű megfeleltetést a programban generált választási kritériumok és a rendszerint adatbázisban tárolt - előregyártott - megoldások között (pl. komplett szerszámok kiválasztása). Ide soroljuk az analógonok kikeresését is (pl. tipustechnológia kikeresése valamely alkatrészhez);
- Adaptálás. A megtalált analógon, vagy a generált általános megoldás illesztése a konkrét feltételekhez (pl. felesleges műveletek, műveletelemek elhagyása, méretek aktualizálása a tipustechnológiában a konkrét alkatrész jellemzői alapján);
- Értékelés. A választott vagy generált megoldás vizsgálata a becslési kritériumok alapján;

- A strukturálási feladatok megoldása valamely folyamat (pl. alkatrészgyártás) vagy objektum (pl. készülék) közvetlen szintézisét eredményezi. A szintézis során természetesen felhasználjuk az összes előzőekben felsorolt feladattípus alkalmazásával kiválasztott, meghatározott részeredményeket, struktúra- és folyamatelemet. Alkatrészgyártás tervezése esetén e feladat során alakul ki a lehetséges folyamatvariánsok halmaza, azaz a technológiai gráf. A legnehezebben formalizálható, automatizálható tervezési feladat, különösen ha törekszünk az általánosításra. A folyamat struktúráján nem csak az eljárások alkalmazásának sorrendjét, hanem a folyamat tagolását (szakaszolását) is értjük (pl. műveletekre);
- Döntés. A legjobb megoldás kiválasztása a lehetségesek közül heurisztikus módszerekkel. Az optimalitás feltétele matematikai szigorral nem fogalmazható meg, vagy az optimális megoldás egzakt módszerekkel nem található meg. Gyakran igen egyszerű művelet, máskor viszont igen összetett a munkadarab állapotváltozásai, az eljárások, a berendezések és gyártóeszközök, az igények és a lehetőségek bonyolult kölcsönkapcsolatai miatt;
- Optimálás. A legjobb megoldás meghatározása egzakt matematikai modell és optimumkeresési eljárás esetében. Az optimálás vonatkozhat a folyamat struktúrájára, vagy egyes paramétereire is;
- Korrekció. A legjobbaként kiválasztott, meghatározott megoldások módosítása olyan esetekben, amikor az általános modellben nem tükrözött, annak esetleg ellentmondó feltételeket is figyelembe kell venni. Ezeket nem vettük be a modellbe, mert az kezelhetetlenné válik, vagy nem tartottuk helyesnek a feltételeket, az alkalmazó viszont ragaszkodik hozzájuk (pl. nem a legjobb szerszám alkalmazása, technológiai paraméterek változtatása). A korrekció történhet automatikusan, vagy interaktív üzemmódban.

A feladatok és tervezési műveletek fenti csoportosítása nem tekinthető abszolút érvényűnek, sőt nagyon is önkényes.

Cvetkov például [78] másként kezeli a kérdést, összesen néhány

műveletet (keresés, adaptálás, korrekció, szintézis) különböztet meg. A szükséges következtetések szemszögéből a mi csoportosításunk jobban megfelel.

A megoldások általánossága

Az alkatrészek gyakorlatilag végtelen változatossága, a környezeti feltételek igen széles határok között való változása és a folyamat környezetfüggősége miatt a tervezési feladatok modellje és megoldása - a feladat jellegétől, szintjétől függően - nem lehet minden esetben általános érvényű. A következő esetek fordulhatnak elő:

- Általános a feladat modellje és megoldása, bármilyen alkatrész esetén, bármilyen gyártási környezetben korlátozás és utólagos illesztés nélkül alkalmazható. Ide sorolható az alacsonyabb szintű geometriai számítások többsége;
- Korlátosan általános megoldásról akkor beszélünk, amikor az valamely jól definiált részfeladatra bármely környezetben alkalmazható, de a megoldás csak bizonyos alkatrészekre, felületcsoportokra, eljárásokra, gépekre stb. vagy éppen fordítva, bármely alkatrészre, de csak bizonyos környezeti feltételek mellett alkalmazható. Ilyen pl. a szerszámpályák tervezése simító kontúresztergálásra. Az ilyen relatíve általános megoldások véges készletével (pl. az összes mozgástervező rutinnal) a teljes probléma (a szerszámpályák tervezése) lefedhető. A megfelelő megoldások utólagos illesztés nélkül alkalmazhatók;
- A parametrikusan környezetfüggő megoldások esetében a matematikai modell és a megoldás módja is megfogalmazható általános alakban, de a modell paramétereit adaptálni kell a konkrét környezet adottságaihoz. Klasszikus példaként a forgácsolási paraméterek számítását említhetjük meg;
- A struktúráisan környezetfüggő megoldások a sorrendtervezésre és az előtervezésre jellemzők. Létezhet ugyan környezetfüggetlen legjobb megoldás, de annak csupán elvi jelentősége van, mivel az adott környezetben feltételek hiányában nem alkalmaz-

ható. Az igények - amelyeket a munkadarab objektív állapotváltozásai határoznak meg - szerencsére általános alakban is előállíthatók, s ezzel maga a feladat is. Az igények kielégítését azonban a környezeti korlátozások határozzák meg. Legcélszerűbb ilyen esetekben a megoldásokat adatbázisba vinni. Ha beviesszük őket a programba, akkor a megfelelő modulok speciálissá, környezetfüggővé válnak. A környezet nagymérvű változása esetén ezek a megoldások már nem adaptálhatók. Jellemző példaként az eljárások és gyártóberendezések kiválasztását ajánlhatjuk;

- A speciális megoldások csak abban a környezetben alkalmazhatók, amelyekre kidolgozták őket. Tervezési, rendszertехnikai hiba miatt is alkalmazzák őket, de szükségszerűen is ilyen megoldásokhoz folyamodunk, ha nem lehetséges az általánosabb, mert az nem is értelmezhető, vagy tudásunk, ismereteink még nem elégségesek kidolgozásukhoz. Ilyen megoldásokként értékelhetjük sok generatív sorrendtervező rendszer eljárás- és gépválasztási algoritmusát, vagy a posztprocesszorok adatkonvertáló moduljait.

A két véglettel - tehát a teljesen általános és a teljesen speciális megoldással - nincsen további teendő. A részlegesen általános és környezetfüggő megoldások adaptálása különböző szinteken és különböző módszerekkel, technikákkal történhet.

A t e c h n o l ó g i a i t u d á s é s a f e l a d a t ö s s z e v e t é s e

A technológiai tervezésben, s így a gyártásban is igen nagy az összegyűjtött egyéni és kollektív tapasztalat, valamint a helyi (jó és rossz) konvenciók jelentősége. Igaz ez a folyamat struktúrájára és paramétereire is. Az egyszer, vagy többször "bevált" megoldásokat lényegi változtatások nélkül alkalmazzák újra meg újra, anélkül hogy mélyebben elemeznék, értékelnék a gazdaságosság szemszögéből. A technológus - más mérnökökhöz hasonlóan - szeretmintákban gondolkodni, kész sémákat alkalmazni. A típus-technológia tulajdonképpen nem más mint az ilyen minták, példák megfogalmazása. Az egyedi "receptek" közötti összefüggéseket, az általánosítás lehetőségeit azonban nem vizsgálták. Így azután

amikor a tervezés automatizálása időszerűvé vált, kiderült, hogy sok esetben a technológus nem tudja érvekkel igazolni, szabályokba fogalmazni az alkalmazott megoldásokat. Különösen igaz ez összetett döntésekre, struktúrális kérdésekre.

Az automatizált tervezés két évtizede alatt a helyzet természetesen sokat javult, de az általánosított, szabályokba, tételekbe, modellekbe fogalmazott technológiai tudás ma sem mindig elegendő a feladatok önálló megoldásához. Hiányos tudás esetében a gépgyártástechnológia szakterületén kívül eső eszközöket is igénybe kell vennünk.

A feladatok típusait, a tervezési műveleteket, a megoldások környezetfüggőségét is figyelembe véve a technológiai tudás és a feladat viszonya, s e viszony következtében az alkalmazható megoldási, tervezési módszerek az alábbi típusesetekbe sorolhatók:

- A tudás kész megoldási sémákban, mintákban, "receptekben" ábrázolható és azok lényegi változtatás nélkül alkalmazhatók a konkrét feladatok megoldására. Ilyen esetekben alkalmazzuk a tervezésben a variáns módszert;
- A tudás jól kezelhető, megfelelően környezetfüggetlen és egzakt matematikai modellekben, környezetfüggetlen és egzakt megoldási módszerekben reprezentálható. E csoportba tartoznak a nagyméretű, de jól dekomponálható modellek is, sőt azok az esetek is, amikor nincsenek egzakt modelljeink, de a feladat megoldására kielégítő heurisztikus algoritmusok vannak. Automatizált tervezéskor a generatív szintézis módszere alkalmazható;
- Részben modellezhető, részben környezetfüggő receptekbe fogalmazható tudás birtokában az előző két eset kombinációjáról van szó. Összetett feladatokra jellemző, s ilyenkor a félgeneratív szintézis módszere alkalmazható;
- Hiányos, a feladat megoldásához nem elegendő a tudás. A feladatot, vagy a megoldás módját nem tudjuk modellezni, a megfogalmazott szabályok, axiómák nem eléggé általánosak, zavarosak, egy-

másnak ellentmondóak, sok a kivétel és azok sem pontosan definiáltak stb. Ilyen esetekben a mesterséges (gépi) intelligencia eszköztárában örvendetesen gyarapodó általános problémamegoldó módszereket, vagy a szűkebb szakterületre, feladatkörre ("világra") specializált szakértői rendszereket (expert systems) hívhatjuk segítségül.

A gyakorlatban elterjedt ATTR-ek néhány kivételtől eltekintve az első két kategóriába tartozó tudást hasznosítják.

Yoshikawa a kérdést tervezéseméleti munkáiban [136] másként kezeli. Négy különböző modellben gondolkodik, amelyek között az első az abszolút tudásnak ("szupermen" tudás, one to one correspondence modell), azaz az olyan ideális tudásnak felel meg, ami a valóságban nem is létezik, s ezért inkább csak elméleti jelentősége van. A második a komputációs modell, amelyben számítások eredményeként jutunk el a főként számszerű eredményekhez. A harmadik modellt paradigma modellnek nevezi s ennek lényege a rokon esetekkel szerzett tapasztalatokra való építés, míg a negyedik a produkciós szabályok modellje, amely viszont a szakértői rendszereknek, általánosabban pedig a mesterséges intelligencia alkalmazásának felel meg.

Ezzel a csoportosítással több okból is nehéz egyetérteni. Egyrészt az a hibája, hogy összekeveri a tervezési műveleteket a tudásábrázolás és a tervezés módszereivel. A komputációs modell nem kezelhető önálló modellként, módszerként, hanem csak tervezési műveletként (mi geometriai és aritmetikai számítási műveleteket javasoltunk megkülönböztetni, ezek együtt a komputációs műveletek). Az osztályozás másik hibája, hogy az egy az egyhez megfeleltetést és a paradigma modellt külön modellként kezeli és az elsőt mint gyakorlatilag lehetetlent azonnal el is veti. A valóságban ez a kettő egy modellt jelent, amelyet mi variáns módszernek nevezünk (Opitz nyomán). A tapasztalatok alapján ugyanis bizonyos feladatok és megoldásaik egy az egyhez megfeleltetéssel, kész receptekkel ábrázolhatók. Ilymódon a "one to one correspondence" modell nem is valami idealizált "szupermen" tudás, hanem nagyon is gyakorlatias és gyakori ábrázolási módja a kikristályosodott mérnöki tapasztalatoknak. A technológiai tervezésben meggyőző alkalmazási példaként elegendő az eljárások

megválasztására hivatkozunk. Forgástest mindenütt esztergálható, síkfelület marható, furat fúrható stb, s ezek a megfeleltetések nem tételeznek fel szupermen képességeket. Yoshikawa négy modellje tehát tulajdonképpen csak kettő, így nem alkalmas a négy valószínű módszer (ha úgy tetszik modell) leírására. Éppen ezért véleményünk szerint az általunk javasolt négy eset, négy tudásrepresentációs módszer (amelyek között az egyik tulajdonképpen két módszer ötvözéséből ered) jobban leírja a valóságot akár a konstrukciós, akár a technológiai tervezés automatizálásáról van szó.

4.3. A tervezés és a tudásrepresentáció módszerei

Az előzőekben tisztáztuk, hogy a technológiai tudás mértéke, érvényességi tartománya, egzaktsága széles határok között változik. Célszerűen változik a tudás ábrázolási módja és tárolásának helye is az ATTR-ben. A tudásrepresentáció módja és a tudás megoszlása a tervezőrendszer komponensei között olyan nagy jelentőségű, hogy szinte egyértelműen meghatározza az alkalmazandó (alkalmazható) tervezési műveleteket, rányomja bélyegét a teljes rendszerre, vagy annak elkülöníthető szintjeire. Ily módon a tudásrepresentáció függvényében különböző elvű rendszerekről beszélhetünk.

4.3.1. A variáns módszer

A módszer ismert, alkalmazása szinte általános. Részletesen ezért itt nem fejtjük ki, csupán néhány jellegzetességét említjük meg.

A teljes technológiai tudást kiemeli a programból, s azt egyszerű táblázatok, vagy táblázatos (ritkán speciális nyelven megírt) algoritmusok alakjában az adatbázisban tárolja (4.6. ábra), amely így tudásbázissá válik. A tudást koncentrált formában, olyan alkalmazásra kész megoldásokként ábrázolja, amelyeken lényegi változtatások automatikusan nem lehetségesek.

A módszerre jellemző tervezési műveletek az elemzés (a feladat azonosítása), a választás (analogon kikeresése) és az adaptálás (felesleges folyamatlemek kihagyása, paraméterek illesztése).

Nyilvánvaló, hogy a módszer nem oldja meg, hanem inkább megkerüli a tervezés automatizálásának problémáját, hiszen kész megoldásokat használ fel. Ennek ellenére óriási jelentőségű, hasznos módszer, amely a mindennapos tervezői munka hatékonyságát többszörösre növeli kézi vezérlésű berendezések és a csoporttechnológia alkalmazása esetében a művelet-, a sorrend- és az előtervezés szintjén.

Hátrányos tulajdonsága, hogy érzéketlen az aktuális munkadarab sajátosságaival és a környezeti feltételek változásaival szemben, ezért a megoldásokat viszonylag homogén alkatrészhalmazokra kell kidolgozni. Minden tömegszerűséghez, minden célfüggvényhez és környezethez is el kell készíteni a megoldásokat, így a tudásbázis óriási méretűre duzzad. Amennyiben a megoldási mintákat kézzel készítik, a tudásbázis feltöltésének munkaigényessége erős korlátozó tényezővé válhat.

Ez utóbbi hátrány kiküszöbölhető, ha a megoldási sémákat, azaz a technológiai variánsokat automatizáltan, például a generatív szintézis módszerével, vagy szakértői rendszer segítségével állítjuk elő.

4.3.2. A generatív szintézis módszere

Számtalan rendszerben alkalmazzák a műveletelemek tervezésére. A FORTAP-ban és TAUPROG-ban jelent meg először a művelet- és sorrendtervezés szintjén [126].

Jellemzője, hogy a teljes technológiai tudást beviszi a programba, amelyet ily módon tiszta adatbázis egészít ki. A programba "fagyasztják" a teljes tervezési logikát, a feladatok dekompozíciójának módját, a tervezési műveletek sorrendiségét, a feladatok modelljének aktualizálását és a megoldási módszereket is.

A módszerre jellemző, hogy minden feladattípust és tervezési műveletet sokszor aktivizál (4.7.ábra). Klasszikus megfogalmazásban az általános alakban nyert megoldásokat a tervezés befejeztével illeszti a környezeti feltételekhez.

Legfontosabb jellemzője, s egyben előnye a módszernek, hogy igen érzékenyen képes követni a munkadarab sajátosságait, a gazdasági cél változását, azaz alkalmas optimális technológiák tervezésére. Ez éppen az egzakt modellek és megoldási, optimalizációs módszerek alkalmazásából ered.

Nem kész megoldásokban gondolkodik, hanem apró mozaikokból, a konkrét feltételek részletes elemzésével szintézis útján állítja elő a folyamatot. A technológiai tudás tehát elosztottá válik, bediffundál a rendszer minden programmoduljába.

Legfontosabb hátrányos tulajdonságai a módszernek a rendszerfejlesztés rendkívüli munkaigényessége, a nagy terjedelem és a hosszú futási idő.

Végső fokon a módszer speciális tudást realizál, akkor is, ha a feladatot, a problémát átfogóbban fogalmazzák meg. Ebből származik a módszer másik fontos hátránya is, az t.i., hogy nehezen adaptálható a környezeti változásokhoz. A klasszikus processzor-posztprocesszor elv alkalmazásával az általános megoldás alakilag és parametrikusan illeszthető egy adott berendezés sajátosságaihoz, de a folyamat struktúrája ilyen módszerekkel nem módosítható. A posztprocesszor növelése révén a folyamat bizonyos szakaszai átalakíthatók ugyan, sőt újabb tervezési feladatok is megoldhatók, de a módszer idő- és költségveszteségekkel terhes és a megtervezett folyamat is nagyon hevenyészett lesz.

A fokozatos illesztés elvének következetes alkalmazása sokat javíthat a generatív rendszereken, de csak a környezetfüggőség szűkebb határain belül.

Mindent egybevetve a módszer hatékonyan alkalmazható a művelet-elemtervezés teljes területén és a művelettervezés szintjén is, ha moduláris rendszerekben gondolkodunk.

A generatív módszer néhány alkalmazását az 5.fejezetben mutatjuk be.

A sorrendtervezés szintjén a tisztán generatív szintézis azzal a hátránnyal jár, hogy azonos problémakörre (pl.forgástestek)

több rendszert kell kifejleszteni, amelyek mindegyike egy-egy jellegzetes gyártórendszer típusra, gépparkra (hagyományos univerzális gépek, NC gépek, megmunkáló központok stb) alkalmazható.

4.3.3. A félgeneratív szintézis módszere

A szerző által javasolt módszer lényege és célja a variáns és a generatív módszer előnyeinek ötvözése hátrányaik egyidejű kiküszöbölése mellett. Nevéből is látszik, hogy megvalósítja a folyamat szintézisét, de a tervezési műveletek egy részét a generatív, más részét pedig a variáns módszerrel hajtja végre. A tudást részint a programokban, részint pedig a bázisban tárolja, azaz részint algoritmikusan, részint táblázatos formában, a környezetfüggő tudást pedig - amely főként a konkrét megoldásokat jelenti - a tudásbázisban [108].

Itt tisztáznunk kell a technológiai tudás kettős értelmét. Az egyik arra vonatkozik, hogy milyen módon, milyen berendezésekkel és eszközökkel, milyen sorrendben kell valamely munkadarabot elkészíteni (hogyan gyártani), a másik pedig arra, hogy milyen módon kell a gyártási folyamatot tervezni (hogyan tervezni).

A tervezési folyamat mély elemzése, modellezése révén meghatározható a tervezési részfeladatok (műveletek) olyan készlete, azaz a teljes tervezési feladat olyan dekomponálása és a tervezési műveletek olyan sorrendje, amely az adott szinten (pl. sorrendtervezés, művelettervezés, előtervezés) bármilyen alkatrészre alkalmazható tetszőleges környezeti feltételek mellett is. A tervezésnek ez az objektív modellje olyan programban realizálható, amelyet módosítani, adaptálni sohasem kell. E pontban tehát a tiszta generatív módszer érvényesül. Van egy sor aritmetikai, elemzési, választási, döntési, optimalizációs művelet, amely generatív módszerrel szintén megvalósítható.

A tervezési műveletek között lehetnek olyanok is, amelyek teljesen általános alakban bonyolultak, túlságosan nagyméretűek

ahhoz, hogy egy programmodulban realizáljuk őket. Ilyenek pl. a munkadarab alakjához, felületeihez kapcsolódó geometriai számítások, közbenső állapotaik meghatározása stb. Célszerű lehet ilyen műveleteket több, egymáshoz horizontálisan kapcsolódó generatív modellel megvalósítani. A párhuzamos modulok készletével gyarapítható a program alkalmazási területe, általános jellege (4.8.ábra).

A környezetspecifikus tudás, azaz a megoldások a félgeneratív rendszerben az állandó adatokkal együtt a bázisba kerülnek, így az adat- és tudásbázissá válik. E tekintetben a variáns módszerhez hasonlít egy lényegi különbséggel. A variáns módszernél a teljes megoldást (pl. a teljes sorrendtervet) koncentráltan tárolják, míg a félgeneratív módszer esetében - a feladatmegoldás dekomponálásának megfelelően - minden tervezési művelethez külön tudásbázis komponenst rendelünk. Ha például sorrendtervezésről van szó, akkor külön tároljuk az adott gyártórendszerben alkalmazható eljárásokat, külön a szerszámgépeket stb.

A tudásbázis lényegében feltételek (igények) és megoldások megfeleltetését tartalmazó egyszerű táblázatokból, többméretű mátrixból, esetleg táblázatos algoritmusokból áll. Esetenként előfordul a bázisok közötti kölcsönös hivatkozás.

A tudásbázis dekoncentrációjának két roppant előnye van. Az egyik a tervezés nagyobb rugalmasságában, a másik a változó környezethez való igen egyszerű adaptációban mutatkozik meg.

A technológiai tervezésben egy-egy magasabb szintű döntést (pl. a szerszámgép kiválasztását) több elemi lépés eredményeként, sokoldalú elemzés után hozhatunk meg. Az igények és a lehetőségek kölcsönösen hatnak egymásra és csak e kölcsönhatások figyelembe vételével születhetnek megalapozott döntések. Ha pl. előzetesen meghatároztuk a szükséges eljárásokat, azok egymásutánját a teljes folyamatra, majd utána minden eljárás-hoz kiválasztjuk az alkalmas gépeket, akkor azok közül kiemelhetjük azt, amelyik éppen olyan mértékű műveletkoncentrációt tesz lehetővé, amilyen szükséges az adott munkadarab gyártásá-

hoz. Nem választunk ki pl. megmunkálóközpontot egy egyszerű fűrógép helyett és fordítva. Az elosztott tudásbázis tehát sok feltétel elemzésének lehetőségét nyújtja s ezzel a tervezés rugalmasságát, hatékonyságát növeli.

Ugyanakkor az adat- és tudásbázis elemei különböző mértékben állandóak, vagy változnak a környezeti változások esetében. Nagy valószínűséggel állítható, hogy pl. az alapvető eljárások minden azonos jellegű alkatrészhez dedikált gyártórendszerben alkalmazhatók, míg a szerszámgépek típus, vezérlés, automatizáltság, műveletkoncentráció stb terén nagyon különbözhetnek nem csak gyártórendszerek között, hanem egy-egy gyártórendszer életciklusában is. A tudásbázisnak tehát mindazon eleme, amely nem kötődik konkrét berendezésekhez, gyártóeszközökhöz, gyakorlatilag általános érvényű és így az új környezethez való adaptálás jól felépített félgeneratív rendszerek esetében néhány tudásbázis elem (pl. gyártórendszer mátrix, gépkártyák) cseréjére korlátozódik.

A félgeneratív módszer alkalmas a folyamat optimálására is, hiszen a tudásbázisból több lehetséges megoldást (eljárás, gép, sorrend, szerszám stb) emel ki, amelyek között a megfelelő általános érvényű programmodul kiválaszthatja a néhány legjobbat, akár különböző célfüggvények esetére is.

A félgeneratív módszer jellemzői tehát a tervezési folyamat jól átgondolt modellje és a feladat dekompozíciója, a feltételek (igények) és környezetfüggő megoldások kategorikus szétválasztása, az általános célú program, az elosztott paraméterű adat- és tudásbázis, amelynek nagy részei időtállóak.

A BME-n és a GTI-ben realizált félgeneratív rendszerek igazolták a felfokozott várakozásokat. A módszer valóban kiküszöböli a variáns és a generatív módszer hátrányait és szerencsésen ötvözi előnyeit. Elterjedése várható, annál is inkább, mert publikálása [108,109] óta alkalmazásáról több jelzés érkezett [127].

A módszernek két hátránya van. Az egyik - azonosan a generatív módszerrel - az, hogy nem lehetséges (vagy legalábbis eddig

nem sikerült) a bonyolult sorrendi, struktúrális feladatokra általános megoldást találni. Úgy látszik, hogy ez a probléma meghaladja a "hagyományos" módszerek lehetőségeit és a mesterséges intelligenciához kell folyamodnunk. A részfeladatok kölcsönhatásai miatt erre a problémára nem lehet a tervezési műveletek sorrendjét előre rögzíteni, a döntési szintek "vándorolnak". Szokványos módszerekkel ez a rugalmasság ugyanis nem biztosítható.

A másik hátrány tulajdonképpen a módszer előnyéből ered, abból t.i., hogy a tudás nagyméretű bázisban realizálódik. A tudásbázis változó elemeinek újbóli feltöltése meglehetősen munkaigényes és a különböző elemek közötti keresztreferenciák miatt sok hibalehetőséget rejt magában. E kérdésben is a mesterséges intelligencia módszerei segíthetnek, mivel ezek az elemek nem "hagyományos" módszerekkel automatikusan is előállíthatók.

A félgeneratív módszer néhány alkalmazását a következő fejezetben mutatjuk be.

4.3.4. Szakértői rendszerek a technológiai tervezésben

Van tehát az automatizált technológiai tervezésnek néhány sarkalatos problémája, főként a magasabb tervezési szinteken (előterv, sorrend), amelyek hagyományos módszerekkel nem oldhatók meg. Ha bevisszük a megoldást a programba, akkor az csak speciális lehet, ha a tudásbázisban ábrázoljuk, akkor azt kézzel kell feltölteni, hasonlóan a variáns módszerhez. A probléma végső fokon tehát megoldatlan marad.

A probléma lényege talán úgy fogalmazható meg, hogy meg kell találnunk a számítógépi megfelelőjét a technológus globális áttekintő képességének, ahogyan egy pillantással átfogja a teljes munkadarabot annak fontosabb részleteivel együtt és ahogyan azonnal "beugrik" agyába a megoldás koncepciója. A baj az, hogy a technológus mérnök nem tudja pontosan megmagyarázni a megoldás általános szabályait, mert a nem definiált, rejtett szabályokat azonnal a konkrét példára alkalmazza.

Jellegzetes esete a hiányos tudásnak a megmunkálási sorrend meghatározása. Tudunk jól használható szabályokat fogalmazni, de azok alól sok a kivétel, sőt közöttük sok az ellentmondás.

Olyan eszközt kell tehát találnunk amely ilyen hiányos, ellentmondásos, sok kivételt megengedő, esetleg zavarosan megfogalmazott szabályok alapján is meg tudja keresni a megoldásokat, figyelembe véve a kivételeket, feloldva az ellentmondásokat. Az eszköznek interaktívnak kell lennie, hogy jelezze a bajt, az akadályt s így újabb és pontosabb szabályok megfogalmazását kényszerítse ki, segítse elő.

A gépi intelligencia hajnalán olyan általános problémamegoldó módszereket reméltek, amelyek helyettesíteni tudják az emberi agyat. E reményekben csalatkozván realisztikusabb célt fogalmaztak meg a mesterséges intelligencia kutatói: szigorúan körülhatárolt szűkebb problémakörre (world, világ) az emberi tapasztalatokat a gépi lehetőségekkel ötvözve létrehozni megoldó módszereket, amelyekben a szakterület tapasztalatai kiegészítik az általánosabb megoldási eszközöket.

Szakértői rendszereknek [128] nevezik a mesterséges intelligencia kutatói az ilyen eszközöket. Nevük is mutatja, hogy valamely szakterület (pl. a gépgyártástechnológia) szakértőinek szánták olyan segédeszközként őket, amelyek a ködös információk, hiányos szabályok alapján is megkísérlik a feladat megoldását általánosabb megoldó módszereket alkalmazva. A szabályokat tehát a szakértőnek kell megfogalmaznia, a feladat megoldását viszont nem speciális célú (pl. technológiai) processzor, hanem általánosabb eszköz generálja.

Rendkívül csábító lehetőség és egyúttal riasztó feladat. Csábító, mert ha a szabályokat, esetünkben a technológiai tervezés törvényszerűségeit egyszer jól meg tudjuk fogalmazni, többé nem kell speciális, valamilyen szűkebb problémára orientált processzorokat fejleszteni. Riasztó is egyúttal, mert tudásunkat egészen új formában kell reprezentálnunk, s éppen a legnehezebb tervezési problémákról. Nem azt kell most pl. leírunk, hogy

milyen sorrendben kell egy szekrényyszerű alkatrészt megmunkálni, hanem azt, hogy milyen heurisztikus előzési szabályok határozzák meg a megmunkálás sorrendjét.

A szakértői rendszerek fejlesztésekor négy központi kérdés merül fel. Az első - a világ, azaz a rendszer alkalmazási körének, szakterületének szigorú definiálása. A mi esetünkben ez a gépgyártástechnológia és azon belül is, mint legnehezebb probléma a forgácsolt alkatrészek gyártási sorrendjének tervezése.

A második kulcskérdés a tudás reprezentálása. A tudás itt nem numerikus adatokat, hanem koncepciókat - helyzeteket, hipotéziseket, állításokat, akciókat, következtetéseket, indokolásokat, objektumokat, attribútumokat, következményeket stb - jelent.

A harmadik kérdés a feladatmegoldás módja. Nyilvánvaló, hogy az egyszerű logikai eszközök nem eléggé hatékonyak, mivel a koncepciók, helyzetek általában kétértelműek, ellentmondások, gyorsan változnak. Ez vezetett a ködös (fuzzy) logika, invencionális logika, nemmonoton logika, igazságkarbantartó rendszerek stb névvel jelölt kísérletekhez [133].

A negyedik kérdés a programnyelv megválasztása. A szakértői rendszerek szinte kivétel nélkül speciális nyelvet alkalmaznak, leggyakrabban a LISP-et, vagy annak származékait. A LISP egy listaprocesszáló, szimbólum manipuláló nyelv, tulajdonképpen nem más, mint Church λ kalkulusának implementációja, rekurzív függvények alkalmazása.

Az utóbbi időben, különösen a japán ötödik generációs számítógép projekt (amelynek alapvető nyelve) publikálása óta válik népszerűvé a PROLOG [129], amely viszont a Horn-klózok (clauses) alkalmazása és a problémagráfokon való megoldáskeresés automatikus eszköze. Könnyen megtanulható bemenete, nagyon gyakorlatias illesztési procedúrája, amely tényenként teszteli a szabályokat, lépésről-lépésre értékeli a szituációkat, rokonszenves eszközzé tesz. Mi a PROLOG-ot választottuk technológia

és készülék tervezésére. Hasonló egyéb alkalmazásáról nincsen tudomásunk.

Megvizsgáltuk az OPS5 nyelvet is, amely szimbólikus eszközként a Petri-hálókat alkalmazza. Lehetővé teszi szabályok (R) megfogalmazását és munkamemóriájában (WM) dinamikusan változó állapotot ír le. Az R és a WM új állapotot hoz létre a WM megváltoztatásával. Minden szabály működik, amely illeszthető a munkamemória elemeihez. A szabályban meghatározható, hogy milyen memória elemekre, vagy azok hiányára akarjuk illeszteni, s milyen módon változtatja meg azokat. Technológiai sorrendtervezésre az OPS5-öt alkalmasnak találtuk. Igéretes volta miatt sürgetjük implementálását hazai számítógépre.

A PROLOG bázisú szakértői rendszer alapgondolatát a produkciós rendszer (production system) fogalma testesíti meg, ami nem más, mint a tudás reprezentálása szabályok alakjában. A szabályok "ha-akkor" alakúak, azaz

A if B and C.

A szabály olvasásban azt jelenti, hogy az A igaz, ha B és C igaz, procedurálisan pedig azt, hogy az A teljesüléséhez teljesülnie kell a B és C feltételnek. Egyszerű tényeket is lehet írni feltételek nélküli szabályok alakjában. Metaszabályokat is írhatunk úgy, hogy a feltételek változókat tartalmaznak.

A szabályokat a PROLOG célok elérése alakjában alkalmazza. A célt előreláncolással, vagy hátraláncolással éri el. Az előreláncolás (forward chaining) a tényekből állításokat generál és azokból igyekszik előállítani a végső állapotot (bottom-up), a hátraláncolás (backward chaining) a végső állapotból jut az elemi tényekig (top-down), redukálja a célt és olyan alcélokat generál, amelyek a tények alapján nem fogalmazhatók meg. A megoldás során az első alcélhoz illeszthető első szabályt alkalmazza, s ha nem talál célredukálásra alkalmas szabályt, akkor visszatér egy olyan pontig, ahol ez lehetséges. Ha az összes alcélt eléri, akkor a teljes célt elértnek és a megoldást sikeresnek tekinti.

A kombinációs robbanás elkerülése érdekében a PROLOG a feladatgráf ágainak "metszésével" szűkíti a megoldás keresési tartományát. A metszéshez becsléseket, értékelést alkalmaz.

A szakértői rendszernek azt a második elemét, amely a fenti módon alkalmazza a szabályokat a megoldás céljából "következtető motornak" (inference engine) nevezik. A PROLOG beépített elemként tartalmazza a következtető (megoldó) motort, azaz több egyszerű magasszintű programnyelvnél. A PROLOG-ot annak az általános problémamegoldó eszköznek tekinthetjük, amelyre éppen szükségünk van.

A folyamattervezés nagy, de tördelhető megoldástere ugyanis hierarchikus "generálás és tesztelés" jellegű módszereket igényel, magasabb szinteken nem mindig határozható meg az alproblémák rögzített sorrendje és az alproblémák kölcsönösen hatnak egymásra. A feladat e jellegzetességei, s különösen a döntési szintek kölcsönös cserélhetősége még a PROLOG-gal is bonyodalmakat okoznak, így különleges igazságkarbantartási és konfliktusfeloldási módszerekre van szükség.

A szerző javasolta a PROLOG alkalmazását egyetemes összerakható készülékek tervezésére [130], de a rendszer kidolgozásában nem vett részt.

A gyártási sorrend PROLOG-gal való tervezése a szerző és Márkus András munkája [109, 131]. E munkában a szerző azt a szakértőt képviselte, aki a hiányos, kétértelmű szabályokat megfogalmazta, a megoldó módszer tökéletesítése és a programozás Márkus András munkája és érdeme.

A sorrendtervek generálására a WARPLAN [132] javított változatát alkalmaztuk, amely nem más, mint egy célregressziót alkalmazó program. A WARPLAN világmodellje a következő elemekből áll (4.9.ábra)

- A W_0 kezdeti és a W_C célállapotból, amelyeket állítások konjunkciója reprezentál;

- Az akciókból, amelyek állításokat generálnak, törölnek, köz-
benső W_i állapotokat hoznak létre és amelyek végrehajtása
csak akkor lehetséges, ha konjunktív feltételek találhatók;
- Lehetetlen W_{1j} állapotokból, amelyeket a terv generálásakor
el kell kerülni. Az ilyen állapotok is konjunktív formában
vannak ábrázolva.

A WARPLAN egymás után kiválasztja a célokat és az i . célt eredményező akciókat bépíti a $G_1, G_2, \dots, G(i-1)$ célok elérését eredményező akciósorozatba (4.10) ábra. Azaz az algoritmus arra törekszik, hogy a már létező részleges tervbe építse az újabb akciókat. Ha a részleges terv által előidézett állapotnak az új akció feltételei nem felelnek meg, akkor a WARPLAN meghatározza a létező terv utolsó akciója előtti állapotot és igyekszik utolsóként beépíteni az új akciót. Ha a feltételek teljesülnek, akkor az eredő állapotot ellenőrzi az ellentmondások, a lehetetlen állapotok szemszögéből, ha nem, akkor a visszafelé keresés folytatódik. Egy-egy cél megoldása hátraláncolási folyamat. Ezek összessége azt eredményezi, hogy a terv, ha egyáltalán létezik, összeáll.

A folyamattervezés esetében az akciók megmunkálásokat jelentenek. A technológiai szabályokat részben mint az akciók feltételeit, részben pedig mint nem lehetséges állapotokat fogalmazzuk meg.

A folyamattervezésben szerzett tapasztalatok feltárták a módszer néhány gyengéjét. Ezek között az egyik legfontosabb az, hogy a szakértőnek ismernie kell a tervgeneráló algoritmus tulajdonságait, mert a szabályok sorrendjétől nagyon függ a hatékonyság. A szakértőről pedig nem szabad feltételeznünk, hogy PROLOG- és WARPLAN-specialista. A másik nehézséget az okozza, hogy a célredukció folyamata, logikája nagyon idegen a mérnök gondolkodásmódjától, problémamegoldási módszereitől.

Éppen ezért azt a következtetést vontuk le, hogy célravezetőbb a félgeneratív módszer és a szakértői rendszer kombinációját alkalmazni a technológiai folyamatok tervezésében. Erről a következő fejezetben számolunk be.

4.4. Néhány fontos tervezéstechnikai elv

Vizsgáltuk az alkatrészgyártás, a megmunkálási folyamat, az MKGS rendszer, a tervezési feladatok, műveletek és módszerek jellemzőit, lehetőségeit. Megállapítottuk, hogy a gyártást érő zavaró hatások, a változó gazdaságossági feltételek miatt a technológiai terveket több változatban lehet és kell elkészíteni. A tervezés soklépéses, sokszintű, nagyméretű feladat, amelyet csak dekomponálással tudunk megoldani, úgy hogy minden szinten, minden tervezési műveletben sok feltétel kölcsönhatását elemezzük. Az is nyilvánvalóvá vált, hogy a tervezési feladatoknak csak egy része oldható meg általános érvennyel, nagyobbik részük struktúrálisan vagy parametrikusan függ a környezettől, amely a lehetőségek mellett egyúttal korlátozásokat is jelent az alkalmazható megoldások tekintetében. A környezetfüggőség annál nagyobb mértékű, minél magasabb a folyamat éppen megtervezendő elemének struktúrális szintje, azaz a legkevésbé érzékeny az üzemi feltételek iránt a műveletelem tervezés és legerősebben a gyártási sorrend tervezése, valamint az előtervezés. A gyártásnak és a tervezésnek e sajátosságait tükrözniük kell az ATTR-eknek, amelyeket olyan céllal és igénnyel fejlesztenek, hogy különböző üzemekben, különböző feltételek között is alkalmazhatók, azaz többé kevésbé időtállóak, maradandóak legyenek, olyanok, amelyeket kis idő- és munkaráfordítással illeszthetnek új gyártási körülmányekhez, eltérő alkatrészhalmozokhoz, amelyek nem támasztanak irreális követelményeket a számítástechnikai eszközökkel szemben, gyorsak a tervezésben, kevés alapadattal és közbenső eredménnyel operálnak, képesek optimális - jól képzett, tapasztalt technológus mérnök által "kézzel" kidolgozott terveket megközelítő, vagy azokkal egyenértékű - technológiai terveket kidolgozni.

Annak érdekében, hogy az ATTR-ek ezeknek a reális elvárásoknak megfeleljenek, alkalmazni kell egy sor fontos rendszerteknikai és tervezéstechnikai (tervezéselméleti) elvet. Ezek közül néhányat (kompatibilitás, modularitás stb), amelyek nem csak a technológiai tervezésre, hanem általában az AMT-re érvényesek, már

tárgyaltunk. Néhány más fontos elvet is meg kell fogalmaznunk, amelyek talán szintén nem csak a technológiai tervezésre alkalmazandók, de az ATTR-ek fejlesztésekor fokozottan érvényesítendőek.

A környezetfüggetlenség elve azt a célt konkretizálja, hogy a megoldások az ésszerűség határán belül általánosak, a tervezési műveletek lényegi változtatás nélkül alkalmazhatók legyenek különböző vállalatoknál, üzemekben, gyártórendszerekben. A feladat dekompozíciója, változók alkalmazása, az adatbázis felépítése, a processzor-posztprocesszor elv stb. mellett néhány más elv is szolgálja a cél megközelítését.

Az általános és speciális tudás elkülönítésének elve és következetes alkalmazása az előző elv megvalósításának egyik leghatékonyabb eszköze. A program terjedelmének, gyorsaságának terhére is ésszerű külön modulokba gyűjteni az általános érvényű és a környezetspecifikus tervezési műveleteket annak érdekében, hogy az adaptációt megkönnyítsük.

A feltételek és a megoldások elkülönítésének elve azt sugalmazza, hogy a munkadarab támasztotta igényeket (feltételeket) célszerű külön modulokban összeállítani, s a feltételek kielégítésének módját, azaz a megoldásokat is könnyen cserélhető modulokba koncentrálni. Még jobb, ha a megoldásokat ki tudjuk vinni a tudásbázisba.

A fokozatos illesztés elve azt a törekvést fogalmazza meg, hogy az általános modelleket, megoldásokat fokozatosan, minden tervezési műveletben illesszük az adat- és tudásbázisban ábrázolt környezeti feltételekhez, ily módon minden döntést, számítást azok figyelembe vételével hozunk és végezzük. Az elv betartásával minden lényegi tervezési műveletet elvégezhetünk a processzorban és a tervezés végén a folyamat minden tartalmi részletben követi az adott gyártórendszer sajátosságait. Ebben a megközelítésben a posztprocesszor csak utolsó lépés az illesztési folyamatban és feladata a tervezés eredményeinek formai átalakítására korlátozódik.

Az interdependencia elve tükrözi azt a kényszerűséget, hogy a döntési, választási feladatok megoldásakor figyelembe kell vennünk az igények és lehetőségek kölcsönhatását. Az elv betartása a sokoldalú elemzést, a megoldás-változatok gondos értékelését feltételezi és a tervezőrendszer nagyfokú rugalmasságát eredményezi.

A döntés késleltetésének elve lényegében a döntés többlépéses voltát, fokozatosságát jelenti és óv az elhamarkodott megoldásoktól. Egy-egy fontosabb választás, döntés több tervezési műveletben érlelődik, a feltételek fokozatosan gyűlnek össze. Fel kell ismerni azt az optimális pillanatot (állapotot), amikor minden szükséges és elégséges feltétel birtokában vagyunk, s amikor viszont nem szabad késlekedni a döntés meghozatalában.

Az információ tömörségének elvét a sok tervezési szint, program-szegmens, futási passz miatt célszerű betartani annak érdekében, hogy minél kisebb legyen a közbenső eredmények terjedelme. Minden szinten olyan mértékben dolgozzuk fel az információt, amilyenre éppen szükség van. Célravezetőbb több lépésben kifejtteni az adatokat, esetenként akár több szinten is megismételni bizonyos magasabbszintű geometriai, technológiai elemek kirészletezését, megőrizni a tömör definíciót, mint "cipelni" a sokszor elképesztően sok adatot anélkül, hogy feldolgoznánk őket.

Az elvek alkalmazását a következő fejezetben demonstráljuk.

5. NÉHÁNY ÖSSZETETT TERVEZÉSI FELADAT MEGOLDÁSA

E fejezetben gyűjtöttük csokorba az alkatrészgyártás automatizált tervezésében kiemelt jelentőségű feladatoknak a szerző által javasolt megoldásait. Ezek többsége csoportos munkával már működő rendszerekben realizálódott, néhány most válik számítógépi programmá. Van olyan is, amelyik egyelőre csak rendszertervként létezik.

5.1. Előtervezés

Magasszintű igényes megoldásának lehetőségét az 5.1.ábrán mutatjuk be. Egy ilyen rendszer közvetlen kapcsolatot teremthet a konstrukciós és a technológiai tervezés, valamint a termelés-irányítás között.

Vegyes felépítésű rendszer, amelyben a variáns, a félgeneratív, a generatív módszer és a gépi intelligencia egyaránt jól használható a különböző feladatok megoldásában. Szakértői rendszer szükséges a szerelési családfa, a szerelési vázlat és a méretlánc megoldások meghatározásához, a generatív módszer alkalmas a méretláncok elemzésére, az előgyártmány és az alkatrészek szerelés előtti állapotainak megtervezésére. Félgeneratív módszerrel oldható meg a gyártórendszerek kiválasztásának feladata, s végül hatékony lehet a variáns módszer az előgyártmány típusának, valamint az előgyártási, alkatrészgyártási és a szerelési folyamat elvi vázlatának, azaz a gyártási szakaszoknak és sorrendjüknek a meghatározására.

Gépiparunkban még igen széles körben alkalmazzák a műhelyrendszerű gyártást, azaz a szerszámgépek típusok szerinti csoportosítását. Ilyen korszerűtlen környezetben nem beszélhetünk alkatrész- vagy gyártmánycsaládokhoz dedikált valóságos gyártórendszerekről, a javasolt módszer mégis alkalmazható, ha a különböző homogén gépcsoportok megfelelő berendezéseit alkatrészhalmozokhoz rendelt virtuális gyártórendszerekként kezeljük.

Szerényebb, de igen hatékony előtervező rendszer fejleszthető a variáns módszer kizárólagos alkalmazásával. Ez a megfelelő geometriai tervezés és a méretlánc analízis hiányában nem létesít ugyan közvetlen kapcsolatot a konstrukció, a technológia és a termelésirányítás között, de hasznos eszköz lehet a gyártástervezés és a termelésirányítás magasabbszintű vezetői kezében.

Egyszerű alkatrészosztályozási rendszerrel azonosítható az aktuális alkatrész, a gyártábla segítségével ahhoz gyártórendszerek, valamint normatív költség- és időadatok rendelhetők, majd karbantarthatók e rendszerek terhelési feltételei, szabad kapacitásai. Ezek az adatok jól segítik az előkalkulációt és a középtávú tervezést is.

5.2. A gyártási sorrend tervezése

Jeleztük, hogy ezen a szinten a generatív módszer csak bizonyos részfeladatokra alkalmas, vagy ha a teljes feladatot ezzel a módszerrel oldjuk meg, akkor a rendszer túlságosan speciálissá, merevvé válik. A variáns módszert gyakran alkalmazzák, de esetében nem beszélhetünk automatikus szintézisről. Korszerű módszerekként a félgeneratív és a szakértői rendszerek kínálóznak, amelyek természetesen tartalmazznak bizonyos tervezési műveletekre generatív elemeket is. A geometriai számítások néhány generatív modulban megvalósíthatók. Az eljárások és gépek kiválasztására generatív elemző és félgeneratív választási műveletek alkalmazhatók. A gyártási bázisok meghatározása, a gyártási sorrend szintézise, a készülék kiválasztása vagy tervezése csak szakértői rendszerrel oldható meg. Az optimálási feladatokat a felületcsoportok esetében a legrövidebb út, a teljes alkatrészre vonatkozóan pedig utazóügynök technikákkal célszerű megoldani. Az utóbbi esetben nagy probléma a költségek meghatározása, mert igen lassú és drága művelet. Ezért olyan módszereket kell alkalmazni, amelyek szűkebb környezetben keresik a lokális optimumokat. A közbenső (műveletközi) állapotok meghatározására néhány párhuzamosan működő generatív modell készíthető.

5.2.1. A gyártási eljárások kiválasztása

Cvetkov [73] is, Kochan is [36] a tisztán generatív módszert ajánlja a problémára, amelynek lényege, hogy nem hasznosítja a tervezői tapasztalatokat adat- és tudásbázis, kész részmegoldások alakjában, a szintézist mindig nulláról indítja és minden gyártási eljárást vizsgál alkalmasság szempontjából. Azaz minden elemi felületre keresi azt az

$$E_{alk} \in \{E_i\}$$

alkalmas eljárást, amely kompatibilis a felület alakjával (s hozzá kell tennünk, hogy méreteivel is), azaz

$$A^{fel} = \{A_j^{E_i}\}.$$

A felület mérettűrésének (IT), helyzetének (H) és érdekességének (R) az eljárás által gazdaságosan elérhető és az egyáltalán garantálható legjobb érték között kell lennie, tehát

$$IT^{fel} = (IT_{gazd} \div IT_{meg})^{E_i}$$

$$H^{fel} = (H_{gazd} \div H_{meg})^{E_i}$$

$$R^{fel} = (R_{gazd} \div R_{meg})^{E_i}.$$

Az eljárásokat úgy kell megválasztani, hogy a felületek egyre finomabb $M=M(IT,H,R)$ minőségi állapotba kerüljenek és teljesüljön az

$$E_i : C_{i-1}(M_{i-1}) \rightarrow C_i(M_i)$$

feltétel, azaz az eljárás az éppen aktuális állapotváltozást eredményezze. A munkadarabnak az előző eljárással meghatározott mechanikai tulajdonságai (keménység) legyenek kompatibilisek az adott eljárás lehetőségeivel

$$K_{i-1}^{fel} < K_{meg}^{E_i}$$

és a létrehozandó mechanikai állapot a választandó eljárás jellemzőivel, azaz

$$K^{fel} = (K_{min} - K_{max})^{E_i}.$$

Szükségtelennek véljük ezt a lassú szintézist. Ugyanarra az eredményre könnyebben, gyorsabban jutunk a félgeneratív módszerrel, amelynek lényegét az 5.2 ábra tükrözi.

A homogén felületcsoportok generatív módon megvalósítható elemzése révén előállítható azok kiindulási és végállapota. A szükséges állapotváltozásokat eredményező eljárások a technológiai tapasztalatok alapján, a környezeti lehetőségeket is figyelembe véve előre elkészíthető állapotátlábkba gyűjthetők. Ezek (5.3. ábra) egy-egy felületcsoport jól definiált diszkrét állapotaihoz a megfelelő eljárásokat rendelik több változatban is. Egy-egy változat egyúttal a felületcsoport teljes megmunkálásának elemi sorrendje is, amely azt a lehető legdurvább kiindulási állapotból a lehető legfinomabb végállapotba juttatja. Az egyes variánsok megfelelhetnek különböző célfüggvényeknek, tömegszerűségi feltételeknek, de leírhatják a legjobb változatokat szükség esetén helyettesíteni képes, vagy az igen speciális berendezésekhez (tehát helyi adottságokhoz) kötődő eljárásokat is. Figyelmet érdemel az állapotátlábla első oszlopa, amely nem egyszerű sorszámot, hanem megmunkálási szakaszt jelöl. Tehát mindazon megmunkálásokat, amelyek a tábla adott sorában a különböző variánsokban szerepelnek, besoroljuk azonos szakaszba. Ez megkönnyíti a következő lépésekben a teljes alkatrész lehetséges gyártási sorrendjeinek előállítását.

Bármely felület teljes megmunkálása tagolható legfeljebb 14 szakaszba. Minden szakasz utáni állapot jól jellemezhető pontossági és mechanikai paraméterekkel.

Sz0	Előgyártás utáni állapot	
Sz1	Előnagyolás	IT>12, Ra>100
Sz2	Feszültségmentesítés	
Sz3	Nagyolás	IT> 9, Ra>10

Sz4	Félsimítás	IT > 8	Ra>2.5
Sz5	Cementálás		
Sz6	Félsimítás (felesleges cementált réteg eltávolítása)		
Sz7	Edzés, nemesítés		
Sz8	Simítás	IT > 6	Ra>0,63
Sz9	Nitridálás		
Sz10	Simítás (felesleges nitridált réteg eltávolítása)		
Sz11	Finommegmunkálás	IT > 4	Ra>0.16
Sz12	Galvanizálás		
Sz13	Szuperfinom megmunkálás	IT> 1	Ra>0,01
Sz14	Ultraprecíziós megmunkálás	IT<1	Ra<0,01

A felületek hierarchiai rendjéből eredően a magasabbrendű felületek megmunkálásakor az alacsonyabb rendűek ráhagyásának egy részét is automatikusan eltávolítjuk, azaz azok megmunkálása szükségszerűen későbbi szakaszban indul. Ezért az alárendelt felületek (beszúrások, ékhornyak, fogazatok, kötőelemfuratok stb) állapot táblái kevesebb szakaszt tartalmaznak.

Az állapot táblából látszik, hogy egyes eljárások több állapotot hidálnak át. Természetesen a felületcsoport állapot táblájában logikai vizsgálatok is szerepelhetnek, azaz táblázatos algoritmus válnak.

A BME sorrendtervező rendszerében [100] és a mintájára készült GLEDA-ban [137] megőriztük az egyszerű táblázatos alakot, viszont bonyolultabbak lettek a hasonló jellegű felületeket csoportosító irányítótáblák, amelyek nem csak az aktuális állapot tábla megtalálását segítik, hanem jelzik a csoporton belüli felület-egyedek eltéréseit is az állapot táblában leírt általánostól.

Az eljárások és a felületcsoportok jól átgondolt definiálásával egyszer feltöltött állapot táblák a sorrendtervező rendszer állandó, vagy alig változó elemei lehetnek szinte tetszőleges környezetben. Ha a technológiai variánsokhoz ajánlásokat is mellékelünk, akkor a keresés irányított lehet, tehát a célfüggvény és a gyártandó darabszám függvényében elemzés nélkül választhatunk megoldásokat.

Az eljárások kiemelése a táblákból roppant egyszerű, hiszen a felület nyers állapotának jellemzőinél éppen jobbakat eredményező eljárás lesz az aktuális első, a végállapotnak megfelelő, vagy annál éppen jobb minőségi mutatókat biztosító eljárás pedig az adott esetben szükséges utolsó eljárás.

Az igen egyszerű és általánosan is megfogalmazható keresési algoritmus eredményeként állnak elő külön-külön az egyes felületcsoportok megmunkálási sorrendjei. Egy-egy felület összes gyártási variánsa a 2.fejezet első típusú gráfján (4.1 és 4.2 összefüggések) akár együttesen is ábrázolható és közülük a legrövidebb út módszerével (pl.diszkrét programozás) határozhatjuk meg minden felület legjobb megmunkálási változatát.

A teljes alkatrész szemszögéből nézve a felületek megmunkálási sorrendjei az eljárások rendszertelen halmazát képezik, ha egy-nél több felületcsoportot kell megmunkálni. A következő tervezési lépés tehát az eljárások olyan átrendezése, amely a munkadarabra értelmezve végrehajtható gyártási sorrendeket eredményez. A fenti módszert a BME sorrendtervező rendszer mellett a GLEDA is alkalmazza .

5.2.2. A gyártási sorrend meghatározása

A feladat két lépésben oldható meg. Az első lépésben a lehetséges sorrendi változatokat kell előállítani, amelyek közül a második lépésben tehát kiválasztani a legjobbakat.

A generatív módszer (Tóth, Cvetkov) heurisztikus és alkatrész-típusokra specializált algoritmusokkal operál. Hátrányait már elemeztük.

F é l g e n e r a t í v m ó d s z e r

A félgeneratív módszer ugyanazt az eljárást követi, mint a megmunkálási módok kiválasztásában, azaz a generatív elemző és választó modulok táblázatos tudásbázisban keresik a megoldást.

Az aktuális munkadarabot egy nagyobb halmaz tagjaként kezeli. A halmazt reprezentáns alkatrész képviseli. Annak lehetséges gyártási sorrendjét írja le az alkatrész állapotáblája (5.4. ábra), amely elvben nagyon hasonlít a variáns elv csoporttechnológiájához. Van persze egy lényegi különbség; az alkatrész állapotáblája (sorrendi vezértábla) konkrétan leírja a munkadarab állapotváltozásait, de azokhoz, ellentétben a variáns módszerrel, nem eljárásokat rendel, hanem a megfelelő felületcsoportok állapotábláinak aktuális sorait. Ennek eredményeként e vezérlőtábla is állandó, vagy legalábbis lassan változó eleme a tudásbázisnak. A vezértáblában leírt gyártási sorrendtől való lehetséges eltéréseket a precedencia előzési) mátrix írja le.

A vezértábla a precedencia mátrixszal nagyon sok lehetséges sorrendet jellemez, hiszen minden felület-állapotáblára való hivatkozás is több változatot jelenthet attól függően, hogy hány variánst választottunk ki a megmunkálási módok meghatározásakor.

A konkrét alkatrész lehetséges (primer) sorrendi változatait e módszer esetén egy általános rendező algoritmus állítja elő. A tervezési műveletet a vezértábla irányítja (5.5. ábra). A rendezőprogram kiemeli a vezértábla aktuális sorát, majd keresi a megfelelő típusú és rendeltetésű felületet az aktuális munkadarabon. Ha nem talál ilyet – továbblép, ha pedig talál, akkor beiktatja a hivatkozott állapotábla hivatkozott sorában feltüntetett megmunkálásokat a gyártási sorrendbe. Az eljárás addig folytatódik, ameddig van a vezértáblában fel nem dolgozott sor, illetve elő nem állított technológiai változat.

A primer sorrendi variánsok száma a későbbi gépválasztással tovább sokszorozódik. A végleges sorrendi változatok csak a berendezések ismeretében, azok sajátosságainak figyelembe vételével határozhatók meg.

Az ismerttetett módszert először a BME sorrendtervező rendszerében alkalmaztuk. Később átvették a GLEDA rendszer fejlesztői is.

Ez a félgeneratív módszer kiválóan működik, ha van kész sorrendi vezérlőtábla (alkatrész állapototábla). Annak előállítására viszont munkaigényes és, sajnos, többször ismétlődő feladat, mivel sok különböző alkatrészcsaládhoz kell kidolgozni. Ezért folyamodtunk a szakértői rendszerekhez.

S z a k é r t ő i r e n d s z e r s o r r e n d - t e r v e z é s r e

Tételezzük fel, hogy félgeneratív módszerrel meghatároztuk az eljárásokat minden felületre és megtörtént a munkadarab geometriai feldolgozása is. A szakértői rendszer sajátosságainak megfelelően szabályokat kell megfogalmaznunk a munkadarab szemszögéből lehetséges sorrend kialakítására. A szabályokat olyan pozitív feltételek, nem lehetséges esetek és kivételek alakjában írjuk, amelyek az akciókra (megmunkálásokra) vonatkoznak.

Néhány jellegzetes szabály a sorrend meghatározására:

Feltételek:

- A megmunkálásokat a szakaszokba (nagyolás, félsimítás, simítás, . . . stb) sorolásnak megfelelő sorrendben kell végezni. Minden felületet át kell vinni az előző szakasz által meghatározott állapotba, mielőtt valamely felületre új szakaszt nyitunk;
- A gyártási szakaszokon belül először a bázisfelületeket kell megmunkálni;
- Először a sok felület megmunkálására szolgáló bázisokat kell megmunkálni;
- A bázisfelület legutolsó megmunkálásának meg kell előznie bármelyik róla készült felület befejező megmunkálását, függetlenül annak finomságától;
- Azonos gyártási szakaszokon belül először a hierarchiailag magasabb rangú (hordozó) felületeket kell megmunkálni;

- Bázisokként először a nagykiterjedésű felületeket kell alkalmazni;
- Először a funkcionális felületeket kell bázisként használni;
- Első műveletben bázisként nem megmunkálendő felületeket alkalmazunk, ha vannak ilyenek;
- A funkcionális célú hőkezeléseket minél későbbre kell sorolni, mert rontják a megmunkálhatóságot;
- A technológiai célú hőkezelést közvetlenül az ezt igénylő forgácsoló megmunkálás elé kell sorolni;

Lehetetlen esetek:

- Bázisként, vagy szorításra szolgáló felületek megmunkálása;
- Nyers felület bázisként alkalmazása nem első műveletben;
- Más felület ráhagyása által fedett felület megmunkálása;
- Túl nagy állapotkülönbségek áthidalása egy megmunkálással;

Kivételek:

- Első műveletben szabad nyers felületeket bázisokként alkalmazni;
- Ha a felületek egymás kölcsönös bázisaiként szolgálnak, akkor a bázisfelület egy szakasszal elmaradhat a megmunkált felülettől;
- Csúcsnélküli köszörülés, golyóköszörülés stb. esetén a bázisfelület azonos a megmunkálendő felülettel;
- Egyes megmunkálások (köszörülés, elektrokémiai megmunkálás) több szakaszt is áthidalhatnak;

A szabályok elemzéséből azonnal kiderül, hogy azok között sok az egymással ellentétes. A feltételek egymás között is ellentmondásosak lehetnek (pl. a bázisokra vonatkozó szabályok), de a lehetetlen eseteknek és a kivételeknek szinte mindegyike ellentmond a feltételeknek. E konfliktusok feloldása a szakértői rendszerek legfontosabb sajátossága.

Lássunk néhány szabályt PROLOG-ban:

```

CONDITIONS (MACH(*MACH,*OF,*OLDST,*NEWST),
            MACHINING(*MACH,*OF,*TYPE,*OLDST,*NEWST)      (a)
            ST(*OF,*OLDST)                                   (b)
            ELEMENT(*OF,*TYPE)                               (c)
            BASED(*ASPECT,*OF,*BASE)                         (d)
            ST(*BASE,*BASEST)                                (e)
            BASE FINE ENOUGH(*MACH,*ASPECT,*BASEST,*NEWST) (f)
IMPOSSIBLE (ST(*ELEMENT,*OLDST)                             (g)
            TOO DIFF STATES(*OTHERSTATE,*OLDST)             (h)
            ST(*OTHER,*OTHERSTATE)                           (i)

```

A * -gal jelölt argumentumok változókat jelölnek. A feltétel azt jelenti, hogy a *MACH nevű megmunkálási akció akkor lehetséges, ha van megfelelő megmunkálás, amely a megfelelő régi állapotból a szükséges új állapotba hozza az *OF felületet (a), az *OF felület állapota (b) és típusa (c) kompatibilis a megmunkálással és a bázisfelület (d) állapota (e) elég finom (f). Lehetetlen túl nagy változások létrehozása, azaz szakaszok áthidalása (g, h, i).

A technológiai tudást hasonló szabályokba fogalmazva (precedenciák) és a WARPLAN-t alkalmazva az 5.6 ábrán látható szekrény-szerű reprezentatív alkatrészre végeztük el a módszer ellenőrzését.

A kísérletet sikeresnek ítéltük, de a korábban ismertetett hátrányok (idegenszerűség, WARPLAN ismeret szükségessége) kiküszöbölése érdekében továbbfejlesztését tartottuk szükségesnek. Ennek egyik iránya a tervezésben szereplő objektumok (munkadarab, felületek, gépek, szerszámok stb) adekvát reprezentációja a zárt referenciasémák módszere [134] szerint. A definíciókat attribútumokkal jellemzett koncepciók alakjában fogalmazzuk,

miközben egyik koncepció finomíthatja a másikat. Az alkatrész jellemezhető pl. a

```
CONCEPT machine-part IS
  (type-of-machine-part,
    size                ,
    material            ,
    accuracy            ,
    .
    .
    .
    )
```

alakban.

Hasonlóan jellemezve a felületeket, eljárásokat, gépeket stb. megkönnyíthetjük a szabályok megfogalmazását a tervgenerátor (pl. WARPLAN) részére.

A továbbfejlesztés másik iránya vegyes rendszerek fejlesztése, azaz gyártási sorrend tervezésére alapvetően a félgeneratív módszert alkalmazni és annak hagyományos programnyelven (pl. FORTRAN, PASCAL) írt szegmenseit PROLOG-ban írt szakértői rendszerrel bővíteni. Ezt az elképzelést tükrözi az 5.7. ábra, amelynek realizálása most folyik [131].

A rendszer négy nagy összetevőből áll. Az EXPERT nevű tag képviseli a magasszintű technológiai tudást, a félgeneratív MODELL végzi a geometriai számításokat, az optimumesélyes eljárások és gépek megválasztását stb. A COMBINE nem más, mint közelítő optimáló eljárások programcsomagja, míg a PLANTEST végzi a végső sorrendterv generálását és tesztelését.

Mind a négy elem összetett. Az EXPERT egyrészt vezérli a teljes folyamatot, tehát ő a tervezési folyamat logikájának a szakértője, másrészt benne realizálódik a produkciós rendszer és a következtető motor. A MODELL végzi a gyártási eljárások és a gépek kiválasztását, a lehetséges sorrendi változatok előállítását, valamint a becslésekhez szükséges költségek meghatározását a már ismertetett félgeneratív módszerrel. A COMBINE kritikus út és utazógynök típusú feladatokat old meg, de kis kör-

nyezetben keresi a legrövidebb utat, azt feltételezve, hogy a lokális optimumok részei a globálisnak.

A folyamatot a rendszer hat nagy lépésben tervezi. Az első lépésben az EXPERT a MODELL segítségével előállítja a lehetséges gyártási sorrendek gráfjait minden felületcsoportra (eljárások kiválasztása). A második lépésben a COMBINE a korlátozások figyelembe vételével meghatározza a legrövidebb utat a gráfokon, azaz minden felületcsoport legjobb gyártási sorrendjét. A harmadik tervezési művelet az alkatrészgyártási sorrend precedencia mátrixának összeállítása, amelyet az EXPERT végez a MODELL segítségével. Itt áll elő a primer sorrend és történik meg a gépválasztás is. A negyedik lépésben a COMBINE feloldja az ellentmondásokat az előzési szabályokban, majd (EX3) az EXPERT meghatározza a legjobb sorrendeket a COMBINE és a MODELL közreműködésével. Végül a PLANTEST értékeli, ellenőrzi a legjobbaként kiválasztott sorrendterveket.

A szakértői rendszer egyedi alkatrészek gyártásának tervezése mellett kiválóan alkalmas más (pl. variáns) módszerre alapozott tervezőrendszerek háttéréül is. Alkatrészcsoporthoz reprezentáns alkatrészeinek gyártása éppúgy megtervezhető, mint ahogyan előállíthatók a félgeneratív rendszerek alkatrész állapotábrái is. Így az ilyen rendszerek tudás- és adatbázisát nem kell kézzel feltölteni, ezért alkalmazási területük könnyen szélesíthető.

Ezért is nyilvánvaló, hogy a szakértői rendszerek meghatározó jelentőségre tesznek szert az automatizált technológiai tervezésben.

5.2.3. Gépválasztás

A generatív módszer hátrányairól a tervezés eredményeit illetően már szóltunk. Elméletileg megkerülhetők a merev, speciális megoldások, de csak rettenetesen sok, aprólékos vizsgálat révén. Cvetkov ugyanazt a megoldást ajánlja a gépválasztásra is, mint az eljárások kiválasztására, azaz olyan

$$G_j = \{G_1, G_2, \dots, G_m\}$$

gépeket keres, amelyek külön is megvizsgálandó

$$J_i^{G_j} = \{J_{j1}, \dots, J_{jk}\}$$

jellemzői kielégítik az aktuális feltételeket [78]. A mai közepes számítástechnikai lehetőségek mellett ez irreális feladat, ezért keresik a generatív rendszerek (TAUPROG, stb) az eleve kiszemelt géptípust. Ez a stratégia viszont bemerevíti őket.

A problémára a félgeneratív módszerben javasoltunk jó megoldást. A már ismertetett gyártórendszer modellben ugyanis a megmunkálási módokhoz (tehát nem alkatrészekhez) előre hozzárendelhetők a berendezések, sőt alkalmazási jellemzőik is (termelékenység, fajlagos költség, szerszámcseré, alkatrészmozgatás automatizáltsága, időigénye stb). Így a modellből könnyen kiemelhetők minden eljáráshoz a szabad kapacitással rendelkező legjobb berendezések, azaz a korábban csak eljárásokkal meghatározott primer gyártási sorrend kiegészül a gépekkel:

$$\begin{array}{l} E_1 \rightarrow G_h, \dots, G_j \\ \cdot \\ \cdot \\ E_i \rightarrow G_k, \dots, G_l \\ E_{i+1} \rightarrow G_m, \dots, G_n \\ \cdot \\ \cdot \\ E_p \rightarrow G_q, \dots, G_r \end{array}$$

A sok változatot rejtő primer sorrendből a precedencia mátrix korlátozásainak figyelembe vételével, heurisztikus vagy egzakt ill. közelítő optimáló eljárásokkal (második típusú gráf, 4.4 és 4.5 összefüggés, utazóügynök feladat) kiválasztható a legjobb variáns. E módszer szerint történik a gépválasztás a BME és a GLEDA rendszerben.

A teljes folyamat tagolása műveletekre szintén két lépésben valósítható meg. Először - teljesen mechanikusan - a globális (maximálisan koncentrált) műveleteket alakítjuk ki. Ezek hatá-

rát a gép változása, vagy a munkadarab új befogási módja jelzi. Egy alkatrészt és gépet vizsgálva a legmagasabbfokú művelet-koncentráció a leggazdaságosabb. A gyártórendszer működésének optimalizálása szükségessé teheti a globális műveletek tördelését (ütemidő betartása, szűk keresztmetszetek feloldása stb). E második lépés legcélszerűbben interaktív üzemmódban hajtható végre.

5.3. Műveletek tervezése

A tervezési szint feladatai jól modellezhetők és a modellek parametrikusan illeszthetők az aktuális feltételekhez, ezért a művelettervezés generatív módszerekkel jól kezelhető. Bizonyos esetekben hatékony lehet a félgeneratív módszer is.

5.3.1. Műveletelemek meghatározása

A soklépéses feladat egyik jellegzetes képviselője, amely jó példa a döntéskésleltetésre és a kölcsönhatásokra is.

Az első részfeladat a műveletelemek főtipusainak meghatározása (5.8.ábra), ami szintén több lépésben történik. A felületek pontossági és érdekességi követelményeit elemezve mindegyikre meghatározzuk, hogy hány lépésben (szakaszban) történjék megmunkálásuk. "Hizlalással" megállapítjuk az elemi szakaszok közötti méreteket (ráhagyásokat) és a közbenső állapotok minőségi jellemzőit (pontosság, érdekesség). A következő lépésben viszonylag egyszerű geometriai számításokkal meghatározzuk az alkatrész közbenső kontúrjait, azaz a végtelennek definiált felületeket végesekké alakítjuk át. Közben kiszűrjük a geometriai abszurdumokat (az alkatrész szétesése darabokra hurokképződés miatt) és egyszerűsítjük a közbenső állapotokat (kis lépések eltüntetésével azonos típusú felületek összevonása). A következő részfeladat az összefüggő felületcsoportok, vagy elemi felületek ráhagyásának meghatározása, amelyet a felületek típusa által meghatározott irányú kimetszésekkel végzünk.

Közben meghatározzuk a majdan kiválasztandó szerszámokkal szemben támasztott követelményeket és ezeket felvesszük az egyre

bővülő szerszámigény-listába. Az összes műveletelem főtipusának és előzetes ráhagyási alakzatainak birtokában történik a szerszámválasztás (esetleg tervezés), a szerszámelrendezés és a műveletelemek végrehajtási sorrendjének véglegesítése (ez is két lépésben, mert a primer sorrend meghatározza a szerszámtervet, az viszont az optimális sorrendet). A szerszámok ismeretében határozzuk meg a műveletelem típusát (pl. a simító hosszsztergálás főtipuson belül a hátra altípus), majd újabb kimetszési műveletekkel korrigáljuk a ráhagyásmezőket és a csatlakozási feltételeket, amelyeket a végleges sorrend, és az altípus (előtolásirány) egyaránt befolyásol.

Jól látható, hogy a megoldás fokozatos közelítése érdekében újból vissza és vissza kell térnünk a szűkebben értelmezett feladathoz, miután más, az eredményt befolyásoló részfeladatokat megoldottunk. Ezért ez az egy tervezési funkció gyakorlatilag a teljes szintet átszövi. Hasonló a helyzet a szerszámválasztással is. Az ismertett algoritmust alkalmaztuk a FORTAP-ban és származékaiban (KGST, MINIFORTAP stb).

5.3.2. Szerszámválasztás

A feladat célfüggvénye

$$K = \sum K_{\text{meg}} + \sum K_{\text{sz}} + \sum K_{\text{cs}} + \sum K_{\text{v}} \rightarrow \min$$

teljes egzaktsággal megfogalmazható, hiszen nyilvánvaló, hogy az az optimális szerszámkészlet, amely mellett a közvetlen munkálási költségek (K_{meg}), a szerszámköltségek (K_{sz}) a szerszámcserek (K_{cs}) és a szerszámváltások (K_{v}) költségeinek (vagy időinek) összege a teljes műveletre a legkisebb. A célfüggvény kielégítésére viszont nincsenek egzakt módszerek.

Célravezető lehet az alábbi heurisztikus algoritmus. A szerszámokat előzetesen főtipusokba soroljuk, meghatározva egyúttal, hogy egy-egy főtipushoz milyen típusok tartoznak és az altípusoknak milyen minőségi és paraméteres jellemzőik vannak. Az altípusokat jósági rangsorba állítjuk. Szerszám főtipus pl. a

közepes méretű furathosszesztergáló kés (5.9.ábra), amelynek előre- és hátraesztergáló $K = 45^\circ, 70^\circ, 90^\circ, 96^\circ, 103^\circ$ stb. al-típusai lehetnek. A fő- és altípust kódok jellemzik. Szintén előzetesen elhatározzuk, hogy milyen műveletelem főtipusokhoz milyen szerszám főtipusokat rendelünk.

Eme előkészítő munkálatok után megfogalmazható a szerszámválasztás algoritmus (5.10.ábra). Minden műveletelem generálásába beépül a szerszámválasztási feltételek meghatározása. Ez a főtypus kijelölését és a relációkban, vagy tartományokban jelölhető geometriai feltételeket jelenti (a működési hossz legyen nagyobb a minimálisan szükségesnél, az átmérő, az élhosszúság legyen egy tartományon belül stb).

A választási feltételeket nem egy-egy szerszámtípusra, hanem az általánosan értelmezett szerszámmodellre határozzuk meg minden esetben. Az aktuális szerszámtípusra vonatkozóan ezek részben valós feltételek, részben fiktívek. Az utóbbiakat úgy állítjuk be, hogy az éppen igényelt szerszám főtypus bármelyik reprezentánsa kielégítse őket.

A műveletelem kritériumait ezután a szerszám igénylistában helyezzük el. Ha hasonló főtypus ott még nem szerepel, akkor új sort nyitunk, ha igen, akkor megvizsgáljuk vannak-e az új igényeknek és a listában szereplőknek közös részei. Ha minden elemi igényre vonatkozóan pozitív választ kapunk, akkor az igények szigorításával és a tűrésmezők szűkítésével, azaz

$$D_{\min} = \max(D_{\text{régi}}, D_{\text{új}})$$

$$D_{\max} = \min(D_{\text{régi}}, D_{\text{új}})$$

$$L = \max(L_{\text{régi}}, L_{\text{új}})$$

$$K = \max(K_{\text{régi}}, K_{\text{új}})$$

jellegű műveletekkel úgy módosítjuk a már jegyzett szerszám-igény paramétereit, hogy azok az új műveletelem feltételeinek is eleget tegyenek.

Az összes műveletelem meghatározása után történik a szerszámok tényleges kiválasztása egy összefüggő lépéssorozatban. Először a legkedvezőbb altípust keressük, s ha olyat nem találunk, csökkentjük az igényeket. Fontos szempont, hogy már a szerszámválasztás során figyelembe vegyünk a jó szerszámelrendezés lehetőségét, azaz a szerszámokat egyenletesen "terítsük" a különböző konstrukciós kiképzésű szerszámhelyek között. (Ezt a szerszám és a gép csatlakozásának komplex kódjával segíthetjük). Lehetőség van többkéses szerszámok alkalmazására esztergálás és fúrórudas megmunkálás esetében. Ilyenkor ésszerű kettő vagy több kés telepítése egy szerszámtartóra. Heurisztikus módszerekkel könnyen kialakítható a kompatibilis összevonások halmaza és akkor maga az összeépítés könnyen algoritmizálható.

A szerszámadatbázis ésszerű összeállítással elérhető, hogy az első alkalmas szerszám egyúttal - nagy valószínűséggel - a legjobb legyen. A fúrók és esztergakések esetében ez azt jelenti, hogy a szerszámokat átmérőjük csökkenő, azonos átmérők esetében viszont hosszúságuk és élelhelyezési szögük növekvő sorrendjében tároljuk a szerszámtáblázatban.

A szerszámválasztás fenti módszerét először a FORTAP-ban oldottuk meg fúró- és esztergáló szerszámokra. Ismereteink szerint más rendszerekben a feladatot még nem automatizálták.

Az esztergaszerszámok választása a legbonyolultabb eset, ezért bizonyítás nélkül is állítható, hogy más típusokra is alkalmas a módszer, beleértve az összevonásokat is (pl. csoportmarók). Nem tekinthető még generatív elven megoldottnak a műveletelemek összevonásának esete, amikor egyidejűleg több, esetleg több típusú és több szerszámtartóra telepített szerszám működik. Tipikus esete a revolver- és automata eszterga. A variáns módszer ajánlható megoldásként (TAUPROG-TR).

5.3.3. A műveletelemek végrehajtásának sorrendje

Hatékony heurisztikus algoritmusok dolgozhatók ki "beépített" stratégiák alapján. Ezek követik a szakaszok szerinti előreha-

ladásra vonatkozó előírásokat (5.11.ábra) és vizsgálják a fedési feltételeket. Jellegzetes példaként a FORTAP-ot hozhatjuk fel, amely először rendezi a műveletelemeket a szakaszok növekvő finomsági sorrendjében és második lépésben rendezi a műveletelemeket az egyes szakaszokon belül.

A "bedrótozott" stratégia az optimálás bizonyos elemeit is tartalmazhatja, azaz akár a szakasz-elv és a hierarchiai elv feláldozásával is előírhat olyan sorrendeket, amelyek "minimalizálják" a szerszámok munkaútvonalait. A széles beszúrásokat a FORTAP éppen ilyen megfontolásokból teszi a simító esztergálások elé. Fordított sorrendben olyan felületeket is simítanánk, amelyeket a beszúrások később eltávolítanak. Természetes, hogy az előbb elvégzett beszúrások hatását a simítási műveletek ráhagyási alakzataiban érvényesíteni kell.

A FORTAP a következő műveletelem sorrendet érvényesíti:

- Központfúrás;
- Fúrás;
- Süllyesztés;
- Külső nagyoló esztergálás;
- Belső nagyoló esztergálás;
- Széles beszúrások nagyolása;
- Külső simító esztergálás;
- Belső simító esztergálás;
- Dörzsölés;
- Beszúrások;
- Alászurások;
- Menetmegmunkálás;
- Elemi mozgásutasítások végrehajtása;

Az igazi problémát a műveletelemek szakaszokon belüli rendezése, azaz a fedési és ütközési feltételek vizsgálata jelenti, amelyre nem alakítható ki heurisztikus módszer. A FORTAP-ban az 5.12.ábrán vázolt nagyoló esztergálási esetekre az 5.13.ábrán látható algoritmust dolgoztuk ki. Ennek lényege az, hogy az aktuális műveletelemeket először egy a helyzetük által meghatározott (pl.

a tokmánytól és a tengelytől távolodó) sorrendbe rakjuk és akkor igen kevés és igen egyszerű geometriai vizsgálat révén juthatunk el a lehetséges sorrendig. Az átrendezési algoritmus mindig a régi sorrendben első helyen álló műveletelemmel kezd és a helycsere szükségességét a sorrendben lévő utolsóra vizsgálja, majd visszafelé halad. Minden elemzésorozatban legfeljebb egy helycsere történik, ezért azt annyiszor kell megismételni, ahány műveletelem van az adott szakaszban. Egy-egy ilyen egyszerű algoritmus természetesen csak nagyon hosszú elemzőmunka eredményeként alakul ki, s így felér egy-egy kisebb felfedezéssel.

A szakaszokon belüli átrendezés után történik az azonos típusú és összefüggő ráhagyásokkal jellemzett műveletelemek összevonása.

A szerszámelrendezés utáni első lépésben úgy módosítjuk a sorrendet, hogy az elkerülhető szerszámcsereket és váltásokat kiiktathassuk, azaz az egyszer működésbe hozott szerszámokhoz gyűjtünk minden előzetesen későbbre tervezett, de már végrehajtható műveletelemet. Az átrendezés lehetősége igen egyszerű módon vizsgálható, ha meghatároztuk az egyes műveletelemek csatlakozási paramétereit is.

Beiktatható egy optimálási lépés is, amelynek rendeltetése, hogy a műveletelemek közötti üresjáratokat minimalizálja. Egzakt megoldása annyira bonyolult, hogy alkalmazása nincsen arányban az elérhető megtakarításokkal. A FORTAP-ban egyszerű módszert alkalmaztunk. A szabadon mozgatható műveletelemeket jellemző koordinátáik (sarokpontjaik, 5.12.ábra) növekvő, vagy csökkenő sorrendjében munkáljuk meg.

5.3.4. Szerszámelrendezés

A művelettervezés legbonyolultabb, legösszetettebb feladata. Célfüggvénye teljesen egzakt,

$$t = \sum t_v + \sum t_{cs} \rightarrow \min$$

azaz az a legjobb elrendezés, amely mellett a szerszámcserek és

szerszámváltások összegzett ideje a legkisebb. Egzakt megoldása viszont eddig nem sikerült.

Az egyik fő gondot az okozza, hogy az elrendezéskor a szerszámok egymás közötti, a szerszám és a munkadarab, valamint a szerszám és a gép közötti ütközéseit egyaránt el kell kerülni és az ilyen feladatok a nem "látó" számítógépnek nem kézenfekvőek. A másik fő gond az, hogy a felszerszámozás általában nem egy, hanem több műveletre készül. (A munkadarabok változó befogása miatt az egy gépen végezhető részfolyamatot több műveletre tagoltuk). A tömegszerűségtől függően esetenként egy munkadarabon minden műveletet elvégeznek és csak utána térnek át a következőre, máskor viszont a teljes tételre végrehajtják az egyik műveletet és utána állítják át a gépet a következőre. Gyakori az is, hogy a szerszámtervet több különböző munkadarabra együttesen kell elkészíteni. A FORTAP-ban sikerült az ütközési problémát teljes egészében megoldani. Az egy alkatrész maximálisan négy befogásához egy közös elrendezési tervet készítünk úgy, hogy az első befogásban a lehívások sorrendjében helyezzük el a szerszámokat. A következő befogásban az előzőekben már használt szerszámok a helyükön maradnak és az üres helyekre kerülnek az újak. Ez természetesen nem egzakt optimálás, hanem észszerűnek látszó kompromisszum.

Megvizsgáltuk az operációkutatás eszköztárát az ERI-250 típusú és hasonló felépítésű NC gépekre. Ezeket az jellemzi, hogy revolverfejeik csak egyirányban forognak, a szerszámfészkek különböző rendeltetésűek (bizonyos helyeken csak fúrni, vagy nagyolni lehet) és az azonos rendeltetésű fészkek különböző konstrukciós kialakításban készültek (ennek megfelelően más a befogható szerszámok csatlakozó részének konstrukciója is). Nem találtunk olyan operációkutatási módszert, amely a sok korlátozást fogadni képes és gyorsan, hatékonyan működik. Dinamikus programozással tudtuk a problémát megoldani, ez azonban lassú és drága, ezért nem építettük be a rendszerbe.

A gondot, szerencsére, az élet oldja meg. Kihalófélben vannak olyan kialakítású revolverfejes gépek, amelyek szerszámfészkei

nem egyformák és a fej csak egyirányban tud forogni. Ugyanakkor viszont egyre több szerszámgépen van szerszámtár, amelyben előre cserére alkalmas pozícióba kerül a következő szerszám. Így a probléma vagy teljesen megszűnik, vagy a váltási idők minimalizálására redukálódik. Ez viszont nagyságrendekkel egyszerűbb lineáris programozási feladat.

5.3.5. Félgeneratív művelettervező rendszer

A CNC vezérlések fejlődésével a folyamattervezés részben valósidejű vezérlési funkcióvá válik. A sokprocesszoros irányítórendszerekben ugyanis van annyi felesleges számítási kapacitás, amennyi a mozgások tervezéséhez, sőt bizonyos művelettervezési feladatok ellátásához szükséges. Előnyösebb is a valósidejű számítások alkalmazása, mint a hosszú programok tárolása, mert a mikroprocesszorok gyorsak és olcsók, a memóriák viszont egyelőre drágák.

Ez a körülmény adta a gondolatot, hogy a vezérlés intelligenciáját a mozgástervezés és a művelettervezés szintjére emeljük. A DIALOG-ban a mozgástervezést évekkel ezelőtt mi is (másokhoz hasonlóan) megoldottuk, a teljes művelettervezést viszont csak a MICON családnévre keresztelt új BME rendszer képes ellátni.

Az egyelőre kísérleti jellegű összeállítást az 5.14 ábrán mutatjuk be, amelyen a művelettervező kis játékszámítógép még külön egység, míg a mozgások tervezése a DIALOG vezérlésben folyik. Az ipari változat fejlesztése megindult a VILATI új UNIMERIC vezérléscsaládjára.

A generatív módszerű művelettervezéshez a vezérlés lehetőségei túlságosan szerények, ezért szűkebb alkatrészhalmazra vonatkozó érvénnyel a félgeneratív módszert alkalmaztuk (5.15. ábra). A folyamatábrából látható, hogy a módszer közelebb áll a variánshoz, mint a generatívhoz. Ez azzal a hátránnyal jár, hogy a rendszer néhány elemét (metszések, táblák) több változatra is el kell készíteni, viszont előnye a rendkívüli tömörség és működési gyorsaság. Magasabb szintű geometriai elemeket (általános

forgástest-lépcső, zseb, sziget, ablak stb) alkalmazva a párbeszédes alkatrészprogramozás, azaz az alapadatok összeállítása is elképesztően gyors. Átlagos esztergálási művelet 1-2 perc alatt beprogramozható, amihez nagyságrendben is hasonló eredményekről nincsenek információink.

Marásra, fúrásra és esztergálásra készültek rendszerek, jelenleg palástköszörülésre folyik a fejlesztés.

5.4. Műveletelemek tervezése

Az automatizált technológiai tervezésnek ez a legjobban kimunkált, legjobban modellezett, legszélesebb körben alkalmazott szintje. Jellemzője, hogy szinte kizárólagosan generatív módszerű rendszerekben realizálják, bár bizonyos elemei (pl. szerszámpályák meghatározása) parametrikus alakban a variáns módszerben is igen hatékonyak, természetesen nagyon szűk és egymáshoz nagyon hasonló alkatrészekből álló alkatrész halmazok esetében.

A szint, különösen a szerszámpályák tervezése egyre inkább a vezérlésekben jelenik meg. A MICON-on kívül a MAZATROL is automatikusan határozza meg a technológiai paramétereket is, azonban nem analitikus módon, hanem nagyon durva táblázatok alapján.

Mivel a 3. fejezetben a modellezési feladatokat részletesen tárgyaltuk, itt néhány probléma vázlatos kifejtésére szorítkozunk.

5.4.1. Technológiai paraméterek meghatározása

Az ismerttetett modell alapján a fogásmélység, az előtolás és a forgácsolási sebesség az alábbi félig heurisztikus módszerrel határozható meg:

Mérnöki megfontolások alapján előre kialakítjuk a sokfogásos műveletelemek fogásmélységeinek $a_1 : a_2 : \dots : a_k$ arányát, amelyet minden esetben érvényesíteni fogunk. Ezek után meghatározzuk az a_{\max} legnagyobb megengedhető fogásmélységét, majd

a ráhagyás alapján a fogásmélységeket és a fogásszámot. Erre a fogásszámmra elvégezzük a kétméretű (előtolás, forgácsolási sebesség) feladatot és megőrizzük a célfüggvény kiszámított értékét.

Ezután a fogásszámot eggyel növelve kiszámítjuk az új fogásmélységeket és megismételjük a kétdimenziós optimálást. A fogásszám növelését addig ismételjük, míg a célfüggvény értéke romlani nem kezd. A rosszabbodás előtti fogásszám és az ahhoz tartozó fogásmélységek, előtolások, forgácsolási sebességek, éltartamok lesznek a műveletelemszintű elsődleges optimálás eredményei.

A kétdimenziós optimálás König, vagy Taylor éltartamegyenlet és konvex feltételrendszer esetében Somló módszerével végezhető el. A szerző által javasolt éltartamegyenlet és a konkáv keresési tartomány általános optimálási eljárás (pl. szimplex módszer) alkalmazását teszi szükségessé.

5.4.2. Szerszámpályák tervezése

A FORTAP-ban, a MICON-ban, KGST NC processzorban a fúrás, esztergálás valamint a két és háromtengelyes marás összes eseteire kidolgoztuk a pályatervező modulokat. Itt csak a bonyolult felületek megmunkálására térünk ki.

V o n a l f e l ü l e t e k g y a l u l á s a

Három tengely folytonos és szimultán mozgatásával és szakaszonként működtetett további egy, két vagy három tengellyel bármilyen vonalfelület megmunkálható. A szerszám mindig a generátor mentén, egyenes pályán mozog, a szakaszos előtolást a direktrix görbék mellett vesszük.

A már tárgyalt termelékenységi és pontossági előnyök mellett a vonalfelületek simító gyalulása (és vésése) azért is kedvezőbb a simító marásnál, mert kevesebb a pályavezérelt (szimultán működő) tengelyek száma. Az 5.16. ábrán látható felületet két pályavezérelt és egy szakaszvezérelt tengely igénybevételel munkáltuk meg. A programozást a FAUN rendszerrel végeztük.

Vonalfelületek marása

A megmunkáláshoz öttengelyes marógép szükséges. Célszerű a hengeres vagy kúpos ujjmaró palástfelületével marni.

A Polyax TC-3 típusú megmunkáló központból úgy állítottunk elő kísérleti célokra öttengelyes marógépet, hogy asztalára egy függőleges tengelyű, majd arra még egy vízszintes tengelyű folyamatosan működő (pályavezérelt) körasztalt helyeztünk. Az öttengelyes UNIMERIC 755 vezérlést a VILATI fejlesztette (5.17. ábra). A gép a 3.7.a. ábra modelljét testesíti meg, amelyhez a mozgásvektorok számítását a 3.5. Melléklet tárgyalja.

A görbe direktrix ívek interpolációjakor a megengedett hiba alapján számítjuk az elemi egyenes szakaszok hosszát. Körív esetén a hiba azonos a húrmagassággal, ezért az ív központi szöge, azaz a megengedett húrhossz explicit módon számítható.

B-spline görbében a húrmagasságot nem tudjuk kifejezni, ezért ott az u és v paramétereknek különböző értékeket adunk és azok mellett a görbe ívek pontjaira vizsgáljuk a hibát. Ha az a túrést meghaladja, akkor csökkentjük a paraméterek növekményeit.

A szerszám palástja generátorként mozog a fődirektrix (vagy a két direktrix) mentén. A tárgyalt szükséges torzulások jobb elosztása érdekében beállítását esetleg korrigáljuk.

A megmunkálás homlokmaróval is lehetséges, ilyenkor a szerszám mindig normális irányú és a torzulás mértéke általában nagyobb, mint palástmaró esetében. Kedvező eset, amikor a palástmaró aktív hossza (vagy a homlokmaró átmérője) nem kisebb a generátor hosszánál mert ilyenkor a felület egy fogásban megmunkálható. Ellenkező esetben a felület generátor menti "terraszolása" szükséges. A mozgástervezés során természetesen előzetesen meg kell határozni a közbenső direktrix görbékét az eredetiek alapján a terraszozási terv által rögzített $t=\text{const}$ paraméterértékek mellett.

Vonalfelületek marására az 5.18 ábrán mutatunk példát. A munkadarab a kísérleti gépen készült. A FAUN-rendszerrel programoztunk.

G ö r b e g e n e r á t o r ú v o n a l f e l ü l e t e k é s t r a n s z l á c i ó s f e l ü l e t e k m e g - m u n k á l á s a

A legkedvezőbb eljárás a gyalulás, vagy a vésés. A szerszám a generátor mentén mozog, az előtolás szakaszos. Nagyon görbült felületek esetében van szükség hat vezérelt tengelyre, amelyek közül általában négy mozog szinkronban, kettő szakaszosan működik (NC szakzsargonban "hatból-négy" típusú megmunkálás).

Az 5.19.ábrán látható viszonylag egyszerűbb felületet két pálya-vezérelt és két szakaszvezérelt tengellyel (négyből kettő) munkáltuk meg. Programját a FAUN-nal készítettük.

Marás esetében az öttengelyes terraszoló marás alkalmazható úgy, hogy a szerszám palástja generátorként viselkedik és a direktrixek mentén mozog. A közbenső direktrixeket meg kell határozni a felület egyenletéből. A terrasz magasságát nem csak a szerszám aktív hossza, hanem a pontossági előírások is korlátozzák. A generátor görbét egyenes szakaszokkal helyettesítjük, amelyek a generátor pillanatnyi érintőivel párhuzamosak. Az érintők egyúttal meghatározzák a szerszám tengelyének hajlásszögét is.

A transzlációs felületek megmunkálása - gyalulása, vésése és marása egyaránt - azonos módon történik. A programozás valamelyest egyszerűbb, mert a generátorgörbék nem változnak. Az 5.20. ábrán ilyen felület marására mutatunk be példát. A kísérleti gépen végeztük a marást és a program a FAUN-nal készült.

S z o b o r f e l ü l e t e k m e g m u n k á l á s a

Kifejlesztettük - a FAUN rendszer részeként - a szoborfelületek leírására és megmunkálására alkalmas részrendszereket is. A térbeli ponthálóra feszített, bikubikus vagy bikvadratikus B-spline technikával ábrázolt felület

$$F=F(x(u,v), y(u,v), z(u,v))$$

alakban áll elő, ahol az u és v paraméterek. Részletes kifejtésével a dolgozatban nem foglalkozunk, mert a felületinterpoláció módszere ismert. Háromtengelyes marógépen gömbfejű maróval munkálható meg esetenként igen alacsony termelékenységgel. Öttengelyes marógépen a szerszám sík homlokfelületével munkáljuk meg a felületet úgy, hogy a szerszám tengelye mindig az

$$\underline{n} = \frac{\partial F}{\partial u} \times \frac{\partial F}{\partial v}$$

felületnormálisban van. A normális alapján számíthatók a B és C (vagy A) elforgatási szögek. A mozgás- és korrekciós vektorok számítását a 3.5. Melléklet erre az esetre is megadja. A szerszámpályákat célszerű az u és v paramétervonalak mentén vezetni cikk-cakk, vagy meander (spirális) módszerrel (5.21. ábra).

Szoborfelületek is gyalulhatók és véshetők, különösen ha a görbületi sugaraik nagyok (pl. repülőgép alkatrészek). Erre is hattengelyes gép szükséges, de ha a felület nem nagyon csavarodik el, akkor öt pályavezérelt tengely is elegendő. A szerszámpályák gyaluláskor az u vagy a v paramétervonalakat követik. Az öttengelyes szerszámmozgások tervezésének kutatási-fejlesztési feladatait önállóan oldottuk meg, mivel sem ilyen programozási rendszerek, sem tervezési algoritmusaik nem hozzáférhetők az embargó miatt.

5.4.3. Folyamatjellemzők meghatározása

A korszerű irányítóberendezések részére szükséges a fontosabb folyamatjellemzők meghatározása a kézi vagy automatikus monitorizálás, diagnosztizálás, hibaelhárítás és adaptív irányítás céljaira. Az újabb CNC vezérlések szinte kivétel nélkül kijelzik valamely folyamatjellemző pillanatnyi értékét (legtöbbször a wattos teljesítményt). A gépkezelő a számított és mért jellemzők alapján ítélni meg a folyamat állapotát. Egyre több az egyszerű vagy optimáló adaptív vezérlés és a felügyeletnélküli gyártórendszer. Értéktartó adaptív vezérlésekhez a szabályozott jellemző alapjelét, ACO-khoz a technológiai adatok teljes matematikai modelljét elő kell állítani. Felügyeletnélküli gyártórendszerek esetében (amelyek rendszerint AC elemeket

is tartalmaznak) meg kell határozni a jellemzők várható normális értékeit és az azoktól értelmezett megengedett mértékű eltéréseket. Ezeken belül a folyamat állapotát deviánsnak tekintjük, amely még visszaterelhető a normálisba, a megengedett határok túllépése viszont kritikus állapotot jelent, amely azonnali drasztikus beavatkozást követel meg. A számított referenciaértékre akkor is szükség van, ha a rendszer tanuló tulajdonságokkal rendelkezik, mert így könnyebb a tanulás, illetve a tanulás korai szakaszában is gyakran bekövetkező kritikus állapotok esetén is megbízhatóbb, nagyobb a tudás.

A jellemzők értéke mellett nagyon hasznosak a jellemzők változásának trendjére és sebességére vonatkozó információk is, hiszen azokból állapítható meg az ellenőrzések, mérések, mintavételek gyakorisága, a szükséges korrekciók várható iránya.

S végül szükség van bizonyos integrált jellemzőkre is, amelyek azt tükrözik, hogy egy-egy alkatrész vagy felület megmunkálása milyen összegzett hatást gyakorol az MKGS-rendszer elemeire. Ezek között a legfontosabb a szerszám éltartama és annak "fogyasztása" egy-egy műveletben, azaz annak meghatározása, hogy a szerszám mennyit kopik egy felület, vagy alkatrész megmunkálása közben.

E jellemzők kivétel nélkül a technológiai tervezés közben, illetve eredményeként válnak ismertté, nevezetesen a technológiai paraméterek meghatározásakor és a szerszámpályák tervezésekor.

A forgácsolási paraméterek meghatározásának sztochasztikus modellje alapján a fogásmélység, az előtolás és a forgácsolási sebesség meghatározása után kiszámítható minden elemi fogásra a forgácsolóerő, a nyomaték, a teljesítmény és az éltartam várható értéke és szórása is. A szóráshatárok egyúttal a deviáns állapotok alsó- és felső határait jelölik. A megmunkálás típusának és előírt pontosságának függvényében meghatározhatók a rezgések megengedett amplitúdói is.

A technológiai paraméterek és a szerszámutek ismeretében számítható, hogy egy-egy fogás, műveletelem, művelet alatt egy-egy

szerszám milyen intenzitással és mennyit kopik, és az is, hogy a kopás hogyan hat a munkadarab méretére, azaz melyik irányban várható a túrés túllépése. E számítások a 3.fejezetben ismertett modellek alapján könnyen elvégezhetők. A forgácsoláselmélet egyszerű módszereket ajánl [135] az éltartam és a kopások számítására, összegezésére szakaszosan vagy folytonosan változó forgácsolási paraméterek esetében.

A szerző közreműködésével kidolgozott tervezőrendszerek (FORTAP, KGST, MICON stb) a szükséges jellemzők többségét számítják, hiszen azok részei a folyamatmodelleknek. Sőt, a FORTAP szolgáltatja a teljes matematikai modellt is (2.1.Melléklet). Kis átalakítással megoldható, hogy az éltartamot, a teljes szerszám-utat és a kopást is szolgáltatassa. Erre az átalakításra valószínűleg a közeljövőben sor kerül, mert fejlesztjük a felügyelet nélküli cellát és az azt irányító VILATI UNIMERIC vezérlést a SZIM megrendelésére. A modellek e dolgozatban javasolt továbbfejlesztése természetesen a rendszerek nagyobb átalakítását jelenti.

5.4.4. Idő- és költségadatok számítása

Egyszerűen, de kissé drágán oldható meg a feladat speciális posztprocesszorban, hiszen a mozgásterv (CLDATA) lényegében a fő és mellékidők meghatározásához szükséges összes adatot tartalmazza. Ésszerűbb a számításokat szerszámgépi posztprocesszor részeként elvégezni. Még helyesebb ha a számítások a processzor részeként beépülnek a műveletelemek tervezésébe, mert így gyorsabban és olcsóbban elvégezhetők, de nem is mindig van vagy fut posztprocesszor. Több az információnk is a processzorban.

A mozgástervezéskor ismerjük a pályákat és mozgásfeltételeket. Az előtolások és az elemi mozgásnövekmények birtokában a közvetlen fő- és mellékidők egyszerűen számíthatók, ugyanúgy, ahogy azt a FORTAP, EXAPT stb posztprocesszorokban megoldottuk. A kapcsolási idők, a szerszámcsere, a szerszámváltás ideje stb gépjellemző, a munkadarab-csere ideje meghatározható néhány

tipusesetre jellemző érték segítségével. Az előkészületi-befejezési idő átlagos gépjellemzőként is felfogható, a pihenési idő az alapidő százalékában számítható. A sorozat nagysága tervezési alapadatként ismert. Ilymódon a processzorban a teljes normaidő meghatározható. A költségadatok számításához is minden adat a processzor birtokában van, vagy könnyen képezhető. Ezért a processzorban a gyártási költségek is nagy pontossággal határozhatók meg.

ÖSSZEFOGLALÁS

A hazai gépipari kutatási-fejlesztési politika irányítói idejekorán felismerték a számítástechnika gépgyártástechnológiai alkalmazásának jelentőségét. A KGM 5. és 23.számú célprogramja már 1968-ban előirányozta a számítógépes NC programozás és technológiai tervezés fejlesztését. Az OMFB és az MTA-AKI (később SZTAKI) szorgalmazták, támogatták és végezték 1969-ben a jól bevált külföldi rendszerek honosítását. A kiemelt K 6 jelű, "A gépgyártástechnológia kutatása-fejlesztése" című célprogram, a Számítástechnikai Központi Célprogram, az OMFB távlati terve és a vállalatok projektjei az V.ötéves tervidőszakra fogalmaztak meg sok igényes feladatot. Jelenleg főként az OKKFT A/2 jelű gépgyártástechnológiai kutatási-fejlesztési célprogramja és néhány tárcaprogram szolgáltat kereteket a koordinált munkához, de ma már a vállalatok robbanásszerűen növekedő igényei váltak a kutatás-fejlesztés motorjává.

A dolgozatban ismertetett kutató-fejlesztő munka fő indítéka és célja a felsorolt programokban, projektekben megfogalmazott feladatok megoldásának elősegítése volt.

1. A durván negyedszázados múltra visszatekintő számítógéppel segített technológiai tervezés ma már a rendszertechnika, a tervezés módszertana, a folyamatok és objektumok modellezése és a megoldási módszerek terén egyaránt jelentős eredményeket ért el. Túlzás nélkül állíthatjuk, hogy az ATTR-ek a gépgyártástechnológia fejlődésének, természettudományos megalapozásának egyik fő húzóerejét képviselik, s ugyanakkor meghatározó erejű hatást gyakorolnak a gépipari AMT egészére. E viharos fejlődési folyamat nem lebecsülendő részét képezik a hazai tudományos munkák is. Az első fejezet áttekinti a hazai és nemzetközi tudományos eredményeket, kitapintja gyenge pontjaikat, megfogalmazza a további munkák fő irányait, s egyúttal az értekezés tárgykörét és céljait is.

2. Az automatizált technológiai tervezőrendszerektől elvárjuk, hogy a technológust minden részfeladat megoldásában segítsék. Ennek az elvárásnak csak igen összetett, sokszintű tervezőrendszerek tudnak eleget tenni, amelyek sok, egymással bonyolult kölcsönhatásban álló általános és funkcionális célú elem-ből épülnek fel. A tervezési feladatok tagolása, szintek és modulok közötti megosztása, a szintek és modulok, valamint az adat- és tudásbázis csatlakozása, az ember és a gép, valamint a rendszer belső elemei közötti csatlakozási felületek tartalmi és formai megfogalmazása, az ATTR és más rendszerek kapcsolódása, az alkalmazás üzemmódja, rugalmassága határozzák meg az automatizált technológiai tervezőrendszerek hatékonyságát. A második fejezet foglalja össze a sokszintű, moduláris rendszer felépítését, működését és fogalmazza meg az elemeivel szemben támasztott követelményeket. Ismerteti az igények kielégítésének legcélravezetőbb módjait is.
3. A kézi és automatizált technológiai tervezésnek megbízható modellekre kell épülnie. A forgácsoláselmélet az MKGS-rendszert és a megmunkálási folyamatot igen durván modellezi, a szerszám, a gép, a gyártórendszer és a gyár modelljei a technológiai tervezésben ismeretlenek voltak. Az értekezés harmadik fejezete ezért foglalkozik a munkadarab és a bonyolult felületek geometriai modelljének továbbfejlesztésével, ezért alakítja ki a szerszám, a gép, az MKGS rendszer, a gyártórendszer és a gyár funkcionális és topológiai modelljeit, amelyekre építve minden tervezési szint feladatai megoldhatók. Részletesen is elemzi a megmunkálási folyamatot az alakképzés, a stabilitás és az optimalitás szemszögéből, bizonyítva, hogy az automatizált tervezés szükségszerűvé és lehetővé teszi a forgácsoláselméleti összefüggések továbbfejlesztését.
4. A tervezési részfeladatok megoldása nem mindig általánosítható a tudás elégtelensége, a megoldások környezetfüggősége, vagy a részproblémák összetettsége miatt. Ezért az automatizált tervezésnek a tudás reprezentálására, a feladatok megoldására és adaptálására több különböző módszert kell alkalmaznia. A dolgo-

zat ismerteti a már korábban is alkalmazott variáns és generatív módszert és javaslatot fogalmaz meg a mesterséges intelligencia egyik új módszerének, a szakértői rendszereknek a technológiai alkalmazására. Vizsgálja az egyes tervezési részfeladatokat és műveleteket a leghatékonyabb tervezési módszerek szemszögéből. Rendszerezi azokat a tervezéstechnikai elveket, amelyek betartása - a kidolgozott modellek és módszerek alkalmazása mellett - tömör, gyorsan működő, hatékony és könnyen adaptálható rendszerekhez vezet.

5. A kidolgozott rendszerkonceptiók, nyelvek, modellek, adat- és tudásbázisok, tervezési módszerek és elvek összetett tervezési feladatok megoldásában testesülnek meg. Ezekről ad számot az ötödik fejezet, tartózkodva a részletes kifejtéstől ott, ahol a modellek alapján a megoldás is könnyebben megérthető, vagy a feladat ismert, alkalmazott rendszerekben realizálódott. Részletesebben tárgyalja viszont az új félgeneratív módszert és a PROLOG bázisú szakértői rendszert, mert ezek korábbi publikálása hézagos, a módszerek viszont - különösen a tudományos előzmény nélküli szakértői rendszer - nem triviálisak.

6. A kutató-fejlesztő munka eredményeit a hazai és külföldi ipar, valamint a felsőoktatás széles körben hasznosítja. A szerző kezdeti elméleti kutatásai nagyban hozzájárultak a TAUPROG rendszer család megalapozásához. Ugyanazok a munkák alapozták meg a FORTAP rendszert, amelyet technikai okok miatt (ALGOL-ban készült) eredeti alakjában ma már csak a felsőoktatási intézmények alkalmaznak, de közvetlen származékait (KGST NC, MHD-BME, MICON, MINIFORTAP, GTIPROG-E) igen sok vállalatnál, intézménynél hasznosítják. A KGST országok egységes feladatleíró nyelve, processzor-posztprocesszor közbenső nyelve, az ISO 4000 típusú CLDATA rekordja a szerző munkájának is eredménye.

Az EXAPT, BASIC EXAPT, az APT és a NELAPT hazai elterjesztésében, a posztprocesszor írás módszereinek tökéletesítésében a szerző is tevékenyen részt vett.

A félgeneratív módszer a BME két sorrendtervező rendszere mellett a GLEDA-nak is elvi alapokat teremtett.

A forgácsolási paraméterek meghatározásának matematikai modelljére épültek az AC rendszerek és a technológiai információs rendszerek (OTIR, IGRA stb) hazai kutatási-fejlesztési munkálatai

A soktengelyes megmunkálás és a szerszámgépek, valamint a bonyolult felületek modellezésének elméleti és kísérleti vizsgálata alapján fogalmazódott meg a SZIM öttengelyes felügyeletnélküli gyártócella projektje, amelynek realizálása már folyik. Ennek része a FAUN is [138]. A várhatóan igen jelentős gazdasági eredmények mellett nem lebecsülendő az a körülmény sem, hogy a szigorú embargókorlát áttörése növelheti szerszámgép- és vezérlésgyártó iparunk nemzetközi rangját, tekintélyét is.

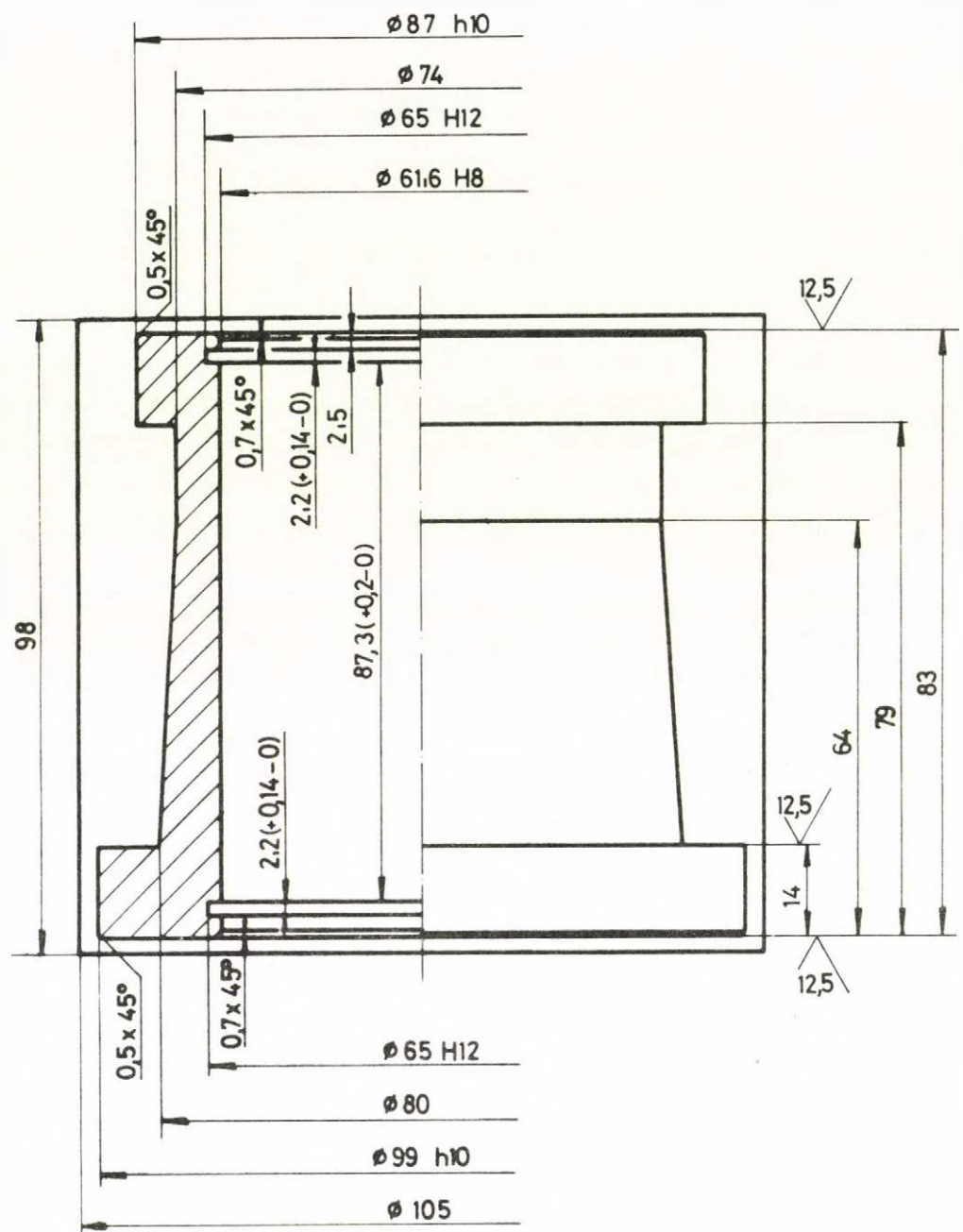
Az értekezés megírásával a kutató-fejlesztő munka természetesen nem fejeződhet be. Annál is inkább nem, mert az új eredmények új kérdéseket és lehetőségeket, az ipari igények pedig új feladatokat fogalmaznak meg. Ilyenek pl. a szakértői rendszerek további kutatása, fejlesztése és alkalmazása, a modellek további tökéletesítése, ami nélkül a minőségsszabályozás és a felügyelet automatizálása csak nehézkesen oldható meg.

2.1.MELLÉKLET

FORTAP példa

Az NC programozási példa a FORTAP rendszer képességeit kívánja reprezentálni. A 158 lapon látható alkatrész számítógép által nyomtatott alkatrészprogramja (alapszámok) a 159 lapon látható. A 160 lapon az automatikusan kiválasztott fűrók és a szintén automatikusan meghatározott műveletelemek adatai találhatók. A megmunkáláshoz szükséges szerszámok teljes listáját mutatja be a 161 lap a szerszámelemek, valamint a beállítási és vezérelt méretek feltüntetésével. Ezek alapján a komplett szerszámok könnyen összeszerelhetők. A szerszámelrendezési terv (162 lap) és a műveletterv (163 lap) is a művelettervező processzor által szolgáltatott gyártási dokumentációk. A műveletterv belső reprezentációja természetesen tartalmazza a műveletelemek ráhagyási alakzatait és a megmunkálendő felületek érdekességét is.

A 164 lapon egy nagyolóesztergálási műveletelem matematikai modellje látható, míg a 165 lapon a szerszámmozgásokat leíró közbenső adatok egy részlete. S végül a 166 lapon a posztprocesszor által nyomtatott műveleti utasítás látható.



KAPCSOLÓAGY 21 - 238534

F O R T A P - E P P R O G R A M
G T I B U D A P E S T G I E R
K G M 5 . S Z A M U K I E M E L T C E L P R O G R A M

ALAPADATOK

Általános adatok:

Hunkadarab: KAPCSOLÓ AGY 21-238534

Szerszámgép: 11 ERI-250/MASING

Rajzszám: 0 NINCSE

Anyagminőség: 122

Érdeesség: 3.20

Símlétszám: 1.00

Transzformáció: 2.500

1.bef 2.bef

Anyagállapot: 2 2

Labilitás: 0 0

Műtét: 2 2

Bázisfelület: 0 1 0 2

Befoglaló adatok: TK ne dk hk db nb

1.befoglalás: 11 0.00 270 12 70 40

2.befoglalás: 11 0.00 260 14 60 45

Számok alapfelhelyezése: 1.szám

1.befoglalás: 560.000 0.000

2.befoglalás: 560.000 0.000

Költségtérítés: 1.befoglalás K4 posztára d102xd75x40 gyűrűvel,

2. befoglalás d87x14 keskeny puhapofába

Előgyártmány leírása

PE/0.000, 0.000;

G 1=H/ 0.000;

D/105.000;

H/ 08.000;

D/ 0.000;

Alkatrész leírása

PA/C.000, 61.600H 8;

H/ 0.000, RA 12.50; 1

E/ 0.500; 2

D/ 99.000H10; 3

H/ 14.200, RA 12.50; 4

D/ 87.000H10; 5

E/ 0.500; 6

RK/ 64.000, 74.000, 15.000, RA 12.50; 1

G 2=H/ 93.000, RA 12.50; 7

E/ 0.700; 8

D/ 61.600H 8; 9

E/ 0.700; 10

BK/ 93.000- 2.500- 2.200(+0.140-0.000), 65.000H12, 2.200(+0.140-0.000); 2

BK/ 93.000- 2.500- 87.300(+0.200-0.000), 65.000H12, 2.200(+0.140-0.000); 3

REF/11

MO/232002, 101, v120.000, e200.000, 1, D, 89.000, J, H, 65.000, 8;

MO/v120.000, e 0.350, D, 80.000, J, H, 14.100, J;

MO/v120.000, e200.000, 1, D, 82.000, B, H, 65.000, 8;

MO/v120.000, e 0.220, D, 74.000, J, K, 64.000, 74.000, 14.000, 80.000, J, H, 14.000, J, P, 105.000;

[illegible][illegible]

SZERSZÁMJEGYZÉK:

KAPCSOLÓ ÁNY 21-238534

S z e r s z á m megnevezése típusa	Befogó	Hüvely	Főré	K e s z e k		V e z é r e l t				B e á l l í t o t t				Szerszámazonosító
				bal	Jobb	késkinyúlás bal	Jobb	szerszámhossz bal	Jobb	késkinyúlás bal	Jobb	szerszámhossz bal	Jobb	
Csigafőré	24 20-520022	nincs	d30MSZ3980			0,00		360,00		0,00		360,00		300
Csigafőré	24 20-520023	nincs	d30MSZ3980			0,00		400,00		0,00		400,00		300
Más. hossz-szűritő	232 SZE-17				TNG220412P20	-64,00		360,00		64,00		360,00		23200
Homlok-nagyoló	221 SZE-1				SNG120412P20	-26,50		360,00		26,50		360,00		22100
Hossz-nagyoló	213 SZE-3				TPN160312P20	-35,00		360,00		35,00		360,00		21300
Hossz-nagyoló	113 SZE-8			TPN160312P20		25,00		400,00		25,00		400,00		11304
Kereszt-hosszuró	241 SZE-12				VSZ-2-20R2	-60,00		360,00		60,00		360,00		24100
Kereszt-hosszuró	341 SZE-11			15-34-606	15-34-606	25,00	-25,00	360,00	360,00	25,00	25,00	360,00	360,00	34100
Más. hossz-szűritő	132 SZE-8			TPN160308P10		25,00		400,00		25,00		400,00		13204
Más. hossz-szűritő	232 SZE-17				TNG220412P10	-64,00		360,00		64,00		360,00		23200

FORAP-CP PROGRAM
011 BUDAPEST 0100

S Z E R S Z Á M E L R E N D E Z É S I T E R V

Munkadarab: KAPCSOLÓ AGY 21-230534

1. Befogás

Szerszámhely vagy kód	Szerszámaazonosítók
01	3002
02	3001
03	221001
04	113049
05	213007
06	241005
07	132046
08	232001
09	341008
10	232002

1. lap KAPCSOLÓ AGY 21-238534

FORTAP-EP PROGRAM
GTI BUDAPEST GIER

Szerszámgépi 11, ERI-250/MASING
Pajzgépi 0, HINC5
Refogások száma: 2

Refogási tokmányban
Nullipont eltolás: 0.000
Ütközési abszolússza: 0.000
Szorítás: 0.015

Szán alap helyzet: 560.000 0.000

Szerszánváltási helyzet: 508.000

1. Refogás M O V E L E T T E R V

M O V E L E T T E L E N	Térr	Szersz	Hely	Korpx	Korpy	Megmunkált felületek
Für	4	3002	013			9
Felfür	4	3001	023			9
Oldalsz nagyol kívüli	4	221001	031	1	1	7
Enztergal nagyol belüli	4	113049	042	2	2	9
Enztergal nagyol kívüli	4	213007	051	3	3	4, 5
Reször keresztirányban kívüli	4	241005	061	4	4	1
Símit előre belüli	4	132046	072	5	5	8, 9
Símit előre kívüli	4	232001	081	6	6	6, 5, 5
Reször keresztirányban belüli	4	341008	092	7	7	3, 2
Speciális megmunkálás	4	232002	101	8	8	

SZERZÁMKÓD:221001
HOVELETFELH KODJA: 5

F_<3000.00
F_<2903.59
F_<800.00
e_< 2.850
e_> 0.010

$-^{0.60}$
exf _> 0.167

$-^{0.60}$
exf _< 0.502
e_< 0.350

1.33
f xe_< 4.468
e_< 0.350
f_< 2.500
e_< 0.677

0.75
nxe xfxd_< 55127.011

0.33 0.1
nxe xf xd_<80350.74
n_< 1400
n_> 63

Célfüggvény minimális értékségre:

-1 3.00 0.32 -0.60 4.00
k= (nxexf) +1.040x-20xn xe xf xd -->min

Célfüggvény maximális értékségre:

-1 3.00 0.32 -0.60 4.00
l= (nxexf) +1.200x-21xn xe xf xd -->min

FORTRAN-EP PROGRAM
G73 BUDAPEST GIER

PROCESSZOR-POSZTPROCESSZOR KÖZBENSŐ ADATOK

nm	SZB "J	PT	SZVM x	FJ y	SJ h	LJ a	H1J MI	NJ MG	NJ PM	KJ	MT KX	KY	FI
1	6001	90	44	1000	26	0.070	71	2,850	57	1	11		
2	1001KAPCSOLÓ AGY 21-230534												
3	2001ERI-250/HASING												
4	3001INING												
5	4001	2											
6	5001	1	0.000	560.000	0.000	-0.001	-0.001	13.600	-38.400	270.000	70.010		
7	501	1	3	1	3002	360.000	0.000	013	1	2	3		
8	502	4	200.000	0.000	2300.000	180.000	4	6	4	2	16	16	1
9	502	4	100.000	0.000	2000.000	180.000	1	6	4	2	16	16	1
10	24	4	94.996	0.000	0.166	180.000	1	3	3	2	16	16	1
11	24	4	-11.000	0.000	0.327	180.000	1	3	6	2	16	16	1
12	505	4	148.000	0.000	2000.000	180.000	3	6	1	2	16	16	1
13	501	4	3	1	3001	400.000	0.000	023	1	2	3		
14	502	4	100.000	0.000	2300.000	125.000	1	6	4	2	16	16	1
15	25	4	-16.500	0.000	0.549	125.000	1	3	6	2	16	16	1
16	505	4	108.000	0.000	2000.000	125.000	3	6	1	2	16	16	1
17	501	4	1	1	221001	360.000	-26.500	031	1	2	3		
18	502	4	148.000	57.000	2300.000	500.000	4	6	4	2	16	1	1
19	502	4	95.500	57.000	2000.000	500.000	1	6	4	2	1	16	1
20	5	4	95.500	40.714	0.310	500.000	2	1	3	2	16	1	1
21	5	4	95.500	23.300	0.310	710.000	2	1	3	2	16	1	1
22	505	4	148.000	23.300	2000.000	710.000	3	6	1	2	1	16	1
23	501	4	2	1	113049	400.000	25.000	042	1	2	3		
24	502	4	108.000	27.406	2000.000	500.000	2	6	4	2	16	2	1
25	502	4	97.500	27.406	2000.000	500.000	1	6	4	2	2	16	1
26	12	4	-1.700	27.406	0.350	1000.000	1	2	3	2	2	16	1
27	12	4	-0.700	26.406	0.350	1000.000	11	6	3	2	2	2	1
28	12	4	97.500	26.406	2000.000	1000.000	3	6	4	2	2	16	1
29	12	4	97.500	29.612	0.170	710.000	4	6	6	2	16	2	1
30	12	4	-1.700	29.612	0.350	710.000	1	2	3	2	2	16	1
31	12	4	-1.700	27.612	0.350	710.000	2	6	3	2	16	2	1
32	505	4	108.000	27.612	2000.000	710.000	3	6	1	2	2	16	1
33	501	4	1	1	213007	360.000	-35.000	051	1	2	3		
34	502	4	148.000	48.482	2000.000	250.000	4	6	4	2	16	3	1
35	502	4	97.500	48.482	2000.000	250.000	1	6	4	2	3	16	1
36	2	4	16.750	48.482	0.350	250.000	1	1	3	2	3	16	1
37	2	4	17.750	49.482	0.350	250.000	18	6	3	2	3	3	1
38	2	4	97.500	49.482	2000.000	250.000	3	6	4	2	3	16	1
39	2	4	97.500	44.465	0.340	355.000	2	6	6	2	16	3	1
40	2	4	16.700	44.465	0.350	355.000	1	1	6	2	3	16	1
41	2	4	16.700	53.500	0.350	710.000	4	1	3	2	16	3	1
42	505	4	148.000	53.500	2000.000	710.000	3	6	1	2	3	16	1
43	501	4	1	1	241005	360.000	-60.000	061	1	2	3		
44	502	4	148.000	45.465	2000.000	90.000	4	6	4	2	16	4	1
45	502	4	66.500	45.465	2000.000	90.000	1	6	4	2	4	16	1
46	201	4	66.500	37.000	0.170	90.000	2	1	6	2	16	4	1
47	201	4	66.500	45.465	2000.000	90.000	4	6	4	2	16	4	1
48	201	4	72.500	45.465	2000.000	90.000	3	6	7	2	4	16	1

FORTAP-EP PROGRAM
QTI BUDAPEST GIER

MUNKADAPAJ:KAPCSOLÓ AGY 21-238534
SZERSZÁMGÉP:FRI-250/MASING
Lapozám: 1

Refordások száma: 2

KÖLTSÉGEES UTASÍTÁSOK: 1.befogás K4 befára d102=d75=40 gyűpűvel,
2. befogás d87x14 keskeny puhapofába

KEZELÉSI ÉS BEÁLLÍTÁSI UTASÍTÁSOK AZ 1.BEFOGÁSHOZ

MŰVELETTI UTASÍTÁS

Mondat sorszáma

Gépi vagy kézi műveletelen

első utolsó

001 - 006: Fúr
007 - 010: Felfúr
011 - 017: Oldalsz nagyol kívüli
018 - 027: Esztorgái nagyol belüli
028 - 037: Esztorgái nagyol kívüli
A038. mondat után karváltás 2-re.utana startgombbal indítás

039 - 046: Beszór keresztirányban kívüli
047 - 050: Simít előre belüli
051 - 053: Simít előre belüli
054 - 057: Simít előre kívüli
058 - 059: Simít előre kívüli
060 - 062: Simít előre kívüli
063 - 067: Beszór keresztirányban belüli
068 - 071: Beszór keresztirányban belüli
072 - 085: Speciális megmunkálás

A085. mondat a 1.befogás vége

BEÁLLÍTÁSI ADATOK

Gzán alaphelyzet:560,00 0.00
Szorítás:külső
Fordulatszámváltó kar indításkor: 2 helyzetben
Nullázási szerszámhossz:360,00

KORREKCIÓS KAPCSOLÓK SZERSZÁMHELYENKÉNT

Szerelőhely	10	20	31	40	51	61	70	80	91	01	
Korrektálás kapcsoló			1		2	3	4	5	6	7	8

3.1.MELLÉKLET

Általánosított vonalfelület

Az 5.19.ábrán látható alkatrész belső felületének megmunkálása volt a feladat. Hasonlóak a sokszögű profilok, csövek húzására, extrudálására szolgáló szerszámok aktív felületei. Az M 3.1/1.ábrán a hatszögű profil húzására alkalmas felületet láthatjuk.

A direktrixek a $z = 0$ síkban fekvő R sugarú kör és a $z = -z_0$ síkban fekvő hatszög. A generátor egy állandóan változó sugarú körív, amelynek síkja merőleges az R generátorra. Sugarát az a feltétel szabja meg, hogy a h húrma-gasság legyen állandó.

Ilyen feltételek mellett

$$P_F \left(-\frac{z_0}{2}, \frac{R + \frac{r}{\cos\phi}}{2} \right)$$

$$u = -\frac{z_0}{2} - (R' - h) \sin\alpha$$

$$v = \frac{R + \frac{r}{\cos\alpha}}{2} + (R' - h) \cos\alpha$$

$$z = u + R' \cos\psi$$

$$Y^* = v + R' \sin\psi$$

$$X = Y^* \cos\phi$$

$$Y = Y^* \sin\phi$$

$$R' = \frac{z_0^2 + \left(R - \frac{r}{\cos\phi}\right)^2 + 4h^2}{8h}$$

$$X = \left(\frac{R + \frac{r}{\cos \phi}}{2} + \frac{z_0}{\sqrt{z_0^2 + \left(R - \frac{r}{\cos \phi}\right)^2}} \times \frac{z_0^2 + \left(R - \frac{r}{\cos \phi}\right)^2 - 4h^2}{8h} + \frac{z_0^2 + \left(R - \frac{r}{\cos \phi}\right)^2 + 4h^2}{8h} \times \sin \psi \right) \cos \phi$$

$$Y = \left(\frac{R + \frac{r}{\cos \phi}}{2} + \frac{z_0}{\sqrt{z_0^2 + \left(R - \frac{r}{\cos \phi}\right)^2}} \times \frac{z_0^2 + \left(R - \frac{r}{\cos \phi}\right)^2 - 4h^2}{8h} + \frac{z_0^2 + \left(R - \frac{r}{\cos \phi}\right)^2 + 4h^2}{8h} \times \sin \psi \right) \sin \phi$$

$$Z = -\frac{z_0}{2} - \frac{R - \frac{r}{\cos \phi}}{\sqrt{z_0^2 + \left(R - \frac{r}{\cos \phi}\right)^2}} \times \frac{z_0^2 + \left(R - \frac{r}{\cos \phi}\right)^2 - 4h^2}{8h} + \frac{z_0^2 + \left(R - \frac{r}{\cos \phi}\right)^2 + 4h^2}{8h} \times \cos \psi$$

$$\text{ahol } h = \frac{z_0^2 + \left(R - r \times \frac{2}{\sqrt{3}}\right)^2 - z_0 \sqrt{z_0^2 + \left(R - r \times \frac{2}{\sqrt{3}}\right)^2}}{2 \left(R - r \times \frac{2}{\sqrt{3}}\right)}$$

R a kör sugara

r a hatszögbe írható kör sugara

ϕ és ψ paraméterek

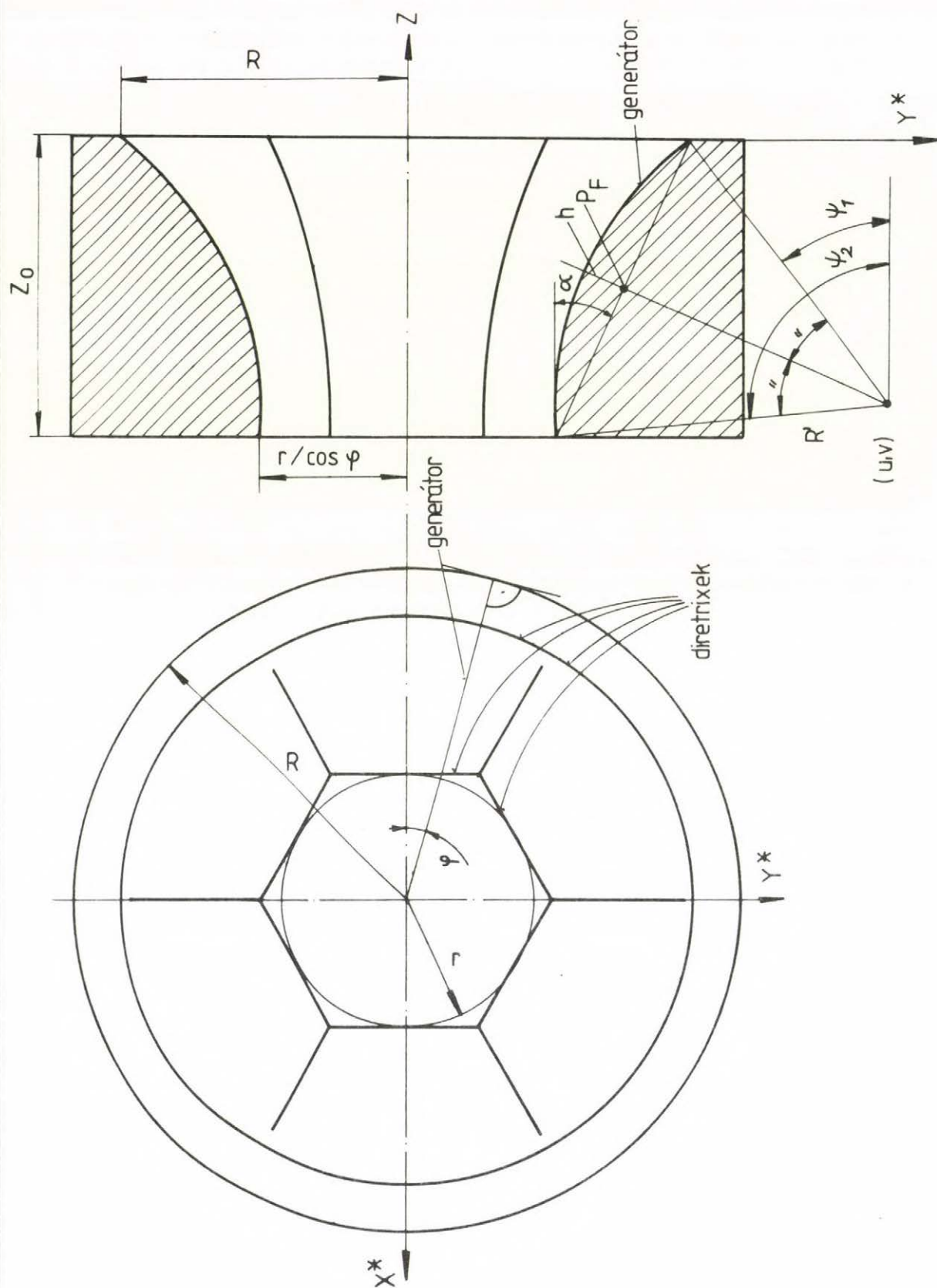
$$-30^{\circ} \leq \phi \leq 30^{\circ}$$

$$\psi_2 \leq \psi \leq \psi_1$$

$$\psi_1 = -\arcsin \left(\frac{\frac{\frac{r}{\cos\phi} - R}{2} + \frac{Z_0}{\sqrt{Z_0^2 + (R - \frac{r}{\cos\phi})^2}} \times \frac{Z_0^2 + (R - \frac{r}{\cos\phi})^2 - 4h^2}{8h}}{\frac{Z_0^2 + (R - \frac{r}{\cos\phi})^2 + 4h^2}{\cos\phi \cdot 8h}} \right)$$

$$\psi_2 = -\arcsin \left(\frac{R - \frac{r}{\cos\phi} + \frac{Z_0}{\sqrt{Z_0^2 + (R - \frac{r}{\cos\phi})^2}} \times \frac{Z_0^2 + (R - \frac{r}{\cos\phi})^2 - 4h^2}{8h}}{\frac{Z_0^2 + (R - \frac{r}{\cos\phi})^2 + 4h^2}{\cos\phi \cdot 8h}} \right)$$

A felület marása öt szimultán tengely alkalmazásával is lassú. Gyorsabb és pontosabb a gyalulás. Így készült a Polyax TC-3 típusú megmunkáló központon alkatrészünk is.



M 3.1/1 ábra

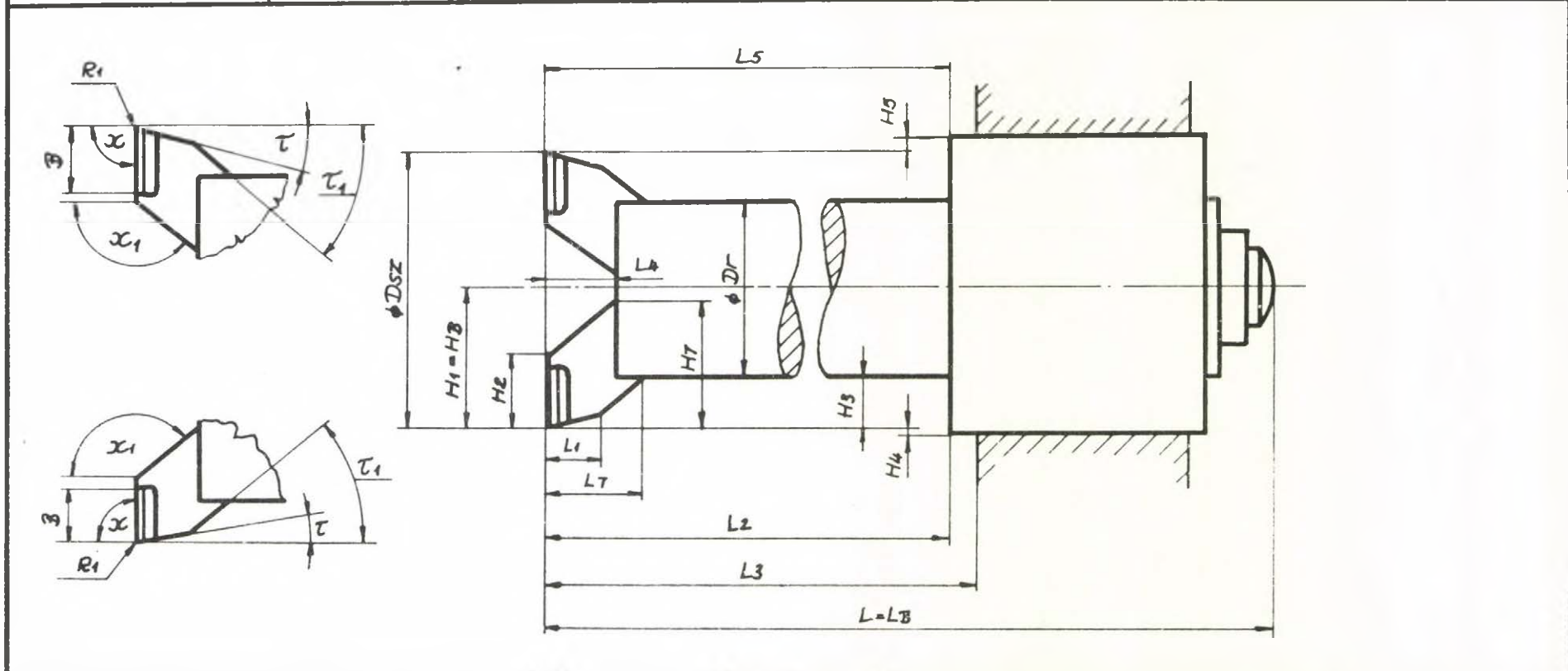
3.2.MELLÉKLET

Szerszámkártya

A szerszám modellje azzal az igénnyel alakul ki, hogy bármilyen esztergaszerszám leírására alkalmas legyen. Ennek az elvárásnak a bonyolult alakú (kettős fő- és kettős mellékéllal jellemzett) alászűrő szerszám felel meg. A modell alkalmas a szerszám automatikus kiválasztására, elemekből való összeszerelésére, beállítására, vezérlésére és a forgácsolási paraméterek számítására. A szerszámgéppal azonos csatlakozási kódrendszer teszi lehetővé a szerszámelrendezés automatikus tervezését.

A 172 lapon az u.n. főkártyát mutatjuk be, amely hasonló szerszámok egész csoportjának közös jellemzését írja le. A szerszámegyedek specifikus tulajdonságainak leírására u.n. követőkártyákat alkalmazunk.

Felhasználó	Szerszámgep	FORTAP szerszárnikártya	Szerszám megnevezése	
			Hossz - nagyoló	



Szerszám típus		Főkarótya sorszáma		Szerszámok száma a köv. karótyán		Befogórúd jele		Rúdátméret D_r [mm]		Beállítási méret (bal)				Beállítási méret (jobb)				Befogható sági kód-szám		Alkalmazási kód-szám	
										L_3 [mm]		H_8 [mm]		L_3 [mm]		H_3 [mm]					
312																					
Jellemzők	Dsz	L	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	α	α_1	τ	τ_1	D_{meg}
Kés								0							0						

3.3.MELLÉKLET

Szerszámgépkártya

A szerszámgép funkcionális modelljét úgy dolgoztuk ki, hogy az a sorrend-, a művelet- és a műveletelem tervezés szintjén egyaránt szolgálja a tervezést. A kinematikai modellt már ismertettük. A gépválasztáshoz, valamint a technológiai paraméterek meghatározásához szükséges jellemzők leírását mellőzve a szerszámválasztáshoz, szerszámelrendezéshez szükséges részmodellt mutatjuk be. A fiktív szerszámgépen sok különböző megmunkálás végezhető, több revolverfeje, tára van és a szerszámhelyek konstrukciója (szerszámtartóhoz való csatlakozása) nem egyforma és a szerszámhelyek technológiai képességei (a hozzájuk rendelhető megmunkálások típusa, minősége) sem egyformák.

A kártya megmunkálási módonként gyűjti össze az azonos képességű szerszámhelyeket, jellemzi a szerszám befogásának körülményeit, a befogható szerszámok elhelyezkedésének, élgeometriájának, alkalmazásának sajátosságait és azonosítja az egyforma szerszámhelyeket.

A tervezés szempontjából ideális szerszámgép kártyájának minden sorában minden szerszámhely szerepel.

SZERSZÁMGÉPKÁRTYA

[illegible]

3.4.MELLÉKLET

Az Öttengelyes megmunkáló központ modellje

A 3.7.a.ábra szerinti gépstruktúra esetében a két rotációs mozgást az A' és B' tengely körül a munkadarab végzi. Az A' rögzített, míg a B' irányát az A' körüli elfordulás megváltoztatja.

A mozgásvektorok számításához bevezetjük a homogén koordinátákat. A felület ismert x, y, z pontja így

$$P = P(x, y, z, 1) \text{ lesz.}$$

Ha azt akarjuk, hogy a szerszám e pontban érintse a felületet és a tengelye a munkadarab koordinátarendszerében $\underline{v}(x, y, z)$ irányú legyen, akkor α', β' -vel jellemzett helyzetbe kell fordítani a munkadarabot és a P pont a $P'(x', y', z', 1)$ helyzetbe kerül az elforgatás hatására.

Amennyiben a \underline{v} egységvektor, az elforgatások szögére a következő adódik:

$$\sin \alpha' = y_0$$

$$\sin \beta' = \frac{x_0}{\sqrt{x_0^2 + z_0^2}}$$

$$\cos \alpha' = \sqrt{x_0^2 + z_0^2}$$

$$\cos \beta' = \frac{z_0}{\sqrt{x_0^2 + z_0^2}}$$

A \underline{v} vektor felülethez viszonyított iránya a megmunkálási stratégia függvénye. Párhuzamos lehet a felületi normálissal, az érintősíkkal, illetve tetszőleges szöget zárhat be vele.

Ha a felület egyenlete $F(u, v)$ és a szerszámtengelyt a felületi normálissal párhuzamos irányba kívánjuk fordítani, akkor mivel

$$\underline{n} = \frac{\partial F}{\partial u} \times \frac{\partial F}{\partial v}$$

a $\underline{v}(x_0, y_0, z_0)$ vektor komponenseire az

$$x_0 = \frac{\frac{\partial F}{\partial u} y \frac{\partial F}{\partial v} z - \frac{\partial F}{\partial u} z \frac{\partial F}{\partial v} y}{|\underline{n}|}$$

$$y_0 = \frac{\frac{\partial F}{\partial u} z \frac{\partial F}{\partial v} x - \frac{\partial F}{\partial u} x \frac{\partial F}{\partial v} z}{|\underline{n}|}$$

$$z_0 = \frac{\frac{\partial F}{\partial u} x \frac{\partial F}{\partial v} y - \frac{\partial F}{\partial u} y \frac{\partial F}{\partial v} x}{|\underline{n}|}$$

összefüggések érvényesek.

Amennyiben a szerszámtengely irányát a felület valamelyik paramétervonal menti érintő irányvektorával párhuzamos helyzetbe kívánjuk beforgatni, akkor a komponensekre az

$$x_0 = \frac{\frac{\partial F}{\partial u} x}{|\frac{\partial F}{\partial u}|}, \quad y_0 = \frac{\frac{\partial F}{\partial u} y}{|\frac{\partial F}{\partial u}|}, \quad z_0 = \frac{\frac{\partial F}{\partial u} z}{|\frac{\partial F}{\partial u}|}$$

vagy

$$x_0 = \frac{\frac{\partial F}{\partial v} x}{|\frac{\partial F}{\partial v}|}, \quad y_0 = \frac{\frac{\partial F}{\partial v} y}{|\frac{\partial F}{\partial v}|}, \quad z_0 = \frac{\frac{\partial F}{\partial v} z}{|\frac{\partial F}{\partial v}|}$$

adódik.

A szükséges α' , β' elforgatást öt elemi transzformáció eredőjeként írhatjuk fel.

Ezek sorrendben a következők:

1. A koordinátarendszer kezdőpontjának eltolása a B' pontba.
2. Elforgatás B' körül β' szöggel.
3. A kezdőpont eltolása az A' pontba.
4. Elforgatás A' körül α' szöggel.
5. A kezdőpont eltolása az origóba.

Az öt elemi transzformáció mátrixai:

$$A1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -XB \\ 0 & 1 & 0 & -YA \\ 0 & 0 & 1 & -ZB \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A2 = \begin{pmatrix} \cos\beta' & 0 & \sin\beta' & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\beta' & 0 & \cos\beta' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & XB \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & ZB-ZA \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha' & -\sin\alpha' & 0 \\ 0 & \sin\alpha' & \cos\alpha' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A5 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & YA \\ 0 & 0 & 1 & ZA \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Az eredő transzformátor mátrixa:

$$A = A5A4A3A2A1$$

és

$$A = \begin{pmatrix} \cos\beta' & 0 & \sin\beta' & -XB\cos\beta' + ZB\sin\beta' + XB \\ -\sin\alpha'\sin\beta' \cos\alpha' & -\sin\alpha'\cos\beta' & XB\sin\alpha'\sin\beta' - YA\cos\alpha' + ZB\sin\alpha'\cos\beta' - (ZB-ZA)\sin\alpha' + YA \\ \cos\alpha'\sin\beta' \sin\alpha' & \cos\alpha'\cos\beta' & XB\cos\alpha'\sin\beta' - YA\sin\alpha' + ZB\cos\alpha'\cos\beta' + (ZB-ZA)\cos\alpha' + ZA \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Egy P(X,Y,Z) pont elforgatás utáni P'(X',Y',Z') koordinátáira a következőt kapjuk:

$$X' = (X-XB)\cos\beta' - (Z-ZB)\sin\beta' + XB$$

$$Y' = -(X-XB) \sin \alpha' \sin \beta' + (Y-YA) \cos \alpha' - (Z-ZB) \sin \alpha' \cos \beta' - (ZB-ZA) \sin \alpha' + YA$$

$$Z' = (X-XB) \cos \alpha' \sin \beta' + (Y-YA) \sin \alpha' + (Z-ZB) \cos \alpha' \cos \beta' + (ZB-ZA) \cos \alpha' + ZA$$

A programban a mozgásokat egységnyi hosszúságú és sugarú szerszámra értelmezzük annak érdekében, hogy tetszőleges hosszúságú és sugarú szerszámmal dolgozhassunk, illetve a szerszám kopásának hatását kompenzálhassuk. A vezérlésbe bevisszük az aktuális szerszámméreteket azzal, hogy a vezérlés a szükséges korrekciós számításokat valós időben végzi el. A vezérlés utasításrendszerében a korrekciós vektorok részére a p, q, r, u, v, w címeket foglaltuk le.

A korrekciók értéke függ a szerszámgép konstrukciójától, a szerszám típusától és a szerszámnak a felületnormálisához viszonyított helyzetétől is.

A tárgyalt gépkonstrukcióban a felületnormálissal párhuzamos szerszámhelyzetben a sugárkorrekciók értéke zérus, a hosszkorrekció pedig a megmunkálás közben állandó. Ha a szerszám tengelye párhuzamos a felület érintősíkjával, akkor hengeres maróra

$$p = x_n$$

$$q = y_n$$

$$r = 0$$

stb.

Általános esetben a programozott $\underline{S} (X_s, Y_s, Z_s)$ pont koordinátáiból a vezérelt $\underline{V} (X_v, Y_v, Z_v)$ pont koordinátáit az

$$X_v = X_s + R_{sz} \cdot p + L \cdot u$$

$$Y_v = Y_s + R_{sz} \cdot q + L \cdot u$$

$$Z_v = Z_s + R_{sz} \cdot r + L \cdot w$$

összefüggések alapján számíthatjuk. L a szerszám hossza, R_{sz} pedig a sugara.

A programban az S címben megadjuk az elemi elmozdulás s idejét. A vezérlés valós időben számítja az öt tengely menti sebességeket a

$$v_x = \frac{\Delta X_v}{s} ; \quad v_y = \frac{\Delta Y_v}{s} ; \quad v_z = \frac{\Delta Z_v}{s} ;$$

$$w_{A'} = \frac{\Delta A'}{s} ; \quad w_{B'} = \frac{\Delta B'}{s}$$

összefüggések szerint. Ezeket megvalósítva jön létre az öt szimultán tengelymenti elmozdulás eredőjeként a kívánt relatív elmozdulás a szerszám és a munkadarab között az előírt sebességgel.

Hasonló számításokkal bármilyen gépstruktúrára, szerszámalakra és szerszámhelyzetre meghatározhatók a mozgás- és korrekciós vektorok, akár hattengelyes gépre is.

Külön elemzésre érdemes a hibák alakulása. A szerszámalakból és a lineáris interpolációból eredő hibák maximuma körívek mentén való elmozdulás esetében explicite kifejezhető, ezért az elemi elmozdulások megengedett legnagyobb értéke is könnyen meghatározható a tűrésmaradvány ismeretében. Nem analitikus görbék esetében erre nincs lehetőség, ezért csak valamilyen taktika szerinti többszöri iterációval tudjuk az elmozdulásokat számítani. A tetszőleges helyzetű (a koordináta síkokkal nem párhuzamos) körívek menti mozgások esetében a két említett hiba mellé egy harmadik nemlineáris hiba társul, amelynek oka az, hogy a körív menti mozgást a vezérlés nem képes végrehajtani és a szerszám "elszakad" a felülettől.

A levezetések mellőzésével a hibára a

$h = |r - r(t)|$ képlet ad felső becslést, ahol

$$r(t)^2 = R^2 ((1 - \cos \beta' t - t(1 - \cos \beta'))^2 + (\sin \beta' t - t \sin \beta')^2) + \\ + r^2 - 2r((X_{B'} - u) \sin \beta' t - t \sin \beta') + (Z_{B'} - w)(1 - \cos \beta' t - t(1 - \cos \beta'))$$

h - a hiba

r - a kör sugara

R - a kör középpontjának a B' tengelytől mért távolsága.

$r(t)$ - a körnek pillanatnyi sugara

x_B, z_B , a B' tengely x és z koordinátája

u, w - a kör középpontjának koordinátái

β' - az elforgatás szöge

t - paraméter, amely 0-tól 1-ig változik, miközben az elforgatás 0-tól β' -ig megtörténik.

A hiba figyelembe vétele, azaz a megengedhető β' elforgatás mértéke iterációval számítható.

3.5.MELLÉKLET

Az MKGS rendszer modellje

A 3.10.ábra szerinti mechanikai modellre az ismertetett feltételek mellett az alábbi nemlineáris differenciál-egyenletrendszer írható fel:

$$\underline{M}_1 \cdot \ddot{\underline{x}}_1 + \underline{K}_1 \cdot \dot{\underline{x}}_1 + \underline{C}_1 \cdot \underline{x}_1 = \underline{F} \quad (1)$$

$$\underline{M}_2 \cdot \ddot{\underline{x}}_2 + \underline{K}_2 \cdot \dot{\underline{x}}_2 + \underline{C}_2 \cdot \underline{x}_2 = \underline{F} \quad (2)$$

$$\underline{F} = \underline{F}(\underline{x}_1, \underline{x}_2, \dot{\underline{x}}_1, \dot{\underline{x}}_2) \quad (3)$$

A két hat-hat szabadságfokkal rendelkező test általános mozgásegyenletét a forgácsolóerő 0 támadáspontjára írtuk fel. A támadáspont a valóságos rendszer hű leírása kedvéért nem esik egybe sem a testek rugalmassági középpontjaival, sem tömegközéppontjaikkal. A forgácsolóerő abszolút értéke és iránya függ a forgácskeresztmetszettől, a forgácsolási sebességtől, ezek változási sebességétől és az élgeometriától. A forgácskeresztmetszet viszont függ a két test relatív helyzetétől.

A [139] szerint egy test általános pontjára felírható tömegmátrix:

$$\underline{M} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & mz & -m\bar{y} \\ 0 & m & 0 & -m\bar{z} & 0 & m\bar{x} \\ 0 & 0 & m & m\bar{y} & m\bar{x} & 0 \\ 0 & -m\bar{z} & m\bar{y} & I_x & -I_{zy} & -I_{xz} \\ m\bar{z} & 0 & -m\bar{x} & -I_{xy} & I_y & -I_{yz} \\ -m\bar{y} & m\bar{x} & 0 & -I_{xz} & -I_{yz} & I_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

Csillapítási mátrix:

$$\underline{\underline{K}} = \begin{bmatrix} \sum k_{xi} & 0 & 0 & 0 & \sum k_{xi}z_i & -\sum k_{xi}y_i \\ 0 & \sum k_{yi} & 0 & -\sum k_{yi}z_i & 0 & \sum k_{yi}x_i \\ 0 & 0 & \sum k_{zi} & \sum k_{zi}y_i & -\sum k_{zi}x_i & 0 \\ 0 & \sum k_{yi}z_i & \sum k_{zi}y_i & \sum (k_{yi}z_i^2 + k_{zi}y_i^2) & \sum k_{zi}x_iy_i & \sum k_{yi}x_iz_i \\ \sum k_{xi}z_i & 0 & \sum k_{zi}x_i & \sum k_{zi}x_iy_i & \sum (k_{zi}x_i^2 + k_{xi}z_i^2) & \sum k_{xi}y_iz_i \\ \sum k_{xi}y_i & \sum k_{yi}x_i & 0 & \sum k_{yi}z_ix_i & \sum k_{xi}y_iz_i & \sum (k_{xi}y_i^2 + k_{yi}x_i^2) \end{bmatrix} \quad (5)$$

 $i=1, \dots, n$

Rugalmassági mátrix:

$$\underline{\underline{C}} = \begin{bmatrix} \sum c_{xi} & 0 & 0 & 0 & \sum c_{xi}z_i & -\sum c_{xi}y_i \\ 0 & \sum c_{yi} & 0 & -\sum c_{yi}z_i & 0 & \sum c_{yi}x_i \\ 0 & 0 & \sum c_{zi} & \sum c_{zi}y_i & -\sum c_{zi}x_i & 0 \\ 0 & -\sum c_{yi}z_i & \sum c_{zi}y_i & \sum (c_{yi}z_i^2 + c_{zi}y_i^2) & -\sum c_{zi}x_iy_i & -\sum c_{yi}x_iz_i \\ \sum c_{xi}z_i & 0 & -\sum c_{zi}x_i & -\sum c_{zi}x_iy_i & \sum (c_{zi}x_i^2 + c_{xi}z_i^2) & -\sum c_{xi}y_iz_i \\ -\sum c_{xi}y_i & \sum c_{yi}x_i & 0 & -\sum c_{yi}z_ix_i & -\sum c_{xi}y_iz_i & \sum (c_{xi}y_i^2 + c_{yi}x_i^2) \end{bmatrix} \quad (6)$$

 $i=1, \dots, n$

A 3.10 ábra jelöléseivel esetünkben

$$r_1 = 60 \text{ mm} \quad a_2 = 60 \text{ mm}$$

$$k_{1xi} = k_{1yi} = k_{1zi} = k_1$$

$$k_{2xi} = k_{2yi} = k_{2zi} = k_2$$

$$c_{1xi} = c_{1yi} = c_{1zi} = c_1$$

$$c_{2xi} = c_{2yi} = c_{2zi} = c_2$$

Ezért:

$$M_1 = m_1 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -60 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} a_1 \\ 0 & 0 & 1 & 60 & \frac{1}{2} a_1 & 0 \\ 0 & 0 & 60 & 2400 & -30a_1 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{2} a_1 & -30a_1 & (900 + \frac{1}{3} a_1^2) & 0 \\ -60 & \frac{1}{2} a_1 & 0 & 0 & 0 & (4500 + \frac{1}{3} a_1^2) \end{bmatrix}$$

$$M_2 = m_2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 30 & -\frac{b_2}{2} \\ 0 & 1 & 0 & -30 & 0 & 30 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{b_2}{2} & 30 & 0 \\ 0 & -30 & \frac{b_2}{2} & (1200 + \frac{b_2^2}{3}) & -15b_2 & -900 \\ 30 & 0 & -30 & -15b_2 & 2400 & -15b_2 \\ -\frac{b_2}{2} & 30 & 0 & -900 & -15b_2 & (1200 + \frac{b_2^2}{3}) \end{bmatrix}$$

$$\underline{\underline{K}}_1 = k_1 \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & -240 \\ 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 4a_1 \\ 0 & 0 & 4 & 240 & -4a_1 & 0 \\ 0 & 0 & 240 & 28800 & -240a_1 & 0 \\ 0 & 0 & -4a_1 & -240a_1 & (7200+4a_1^2) & 0 \\ -240 & 4a_1 & 0 & 0 & 0 & 21600+4a_1^2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{\underline{K}}_2 = k_2 \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 & 120 & -4b_2 \\ 0 & 4 & 0 & -120 & 0 & 120 \\ 0 & 0 & 4 & 4b_2 & -120 & 0 \\ 0 & -120 & 4b_2 & (7200+4b_2^2) & -120b_2 & -3600 \\ 120 & 0 & -120 & -120b_2 & 14400 & -120b_2 \\ -4b_2 & 120 & 0 & -3600 & -120b_2 & 7200+4b_2^2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{\underline{C}}_1 = c_1 \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & -240 \\ 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 4a_1 \\ 0 & 0 & 4 & 240 & -4a_1 & 0 \\ 0 & 0 & 240 & 28800 & -240a_1 & 0 \\ 0 & 0 & -4a_1 & -240a_1 & (7200+4a_1^2) & 0 \\ -240 & 4a_1 & 0 & 0 & 0 & 21600+4a_1^2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{\underline{C}}_2 = c_2 \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 & 120 & -4b_2 \\ 0 & 4 & 0 & -120 & 0 & 120 \\ 0 & 0 & 4 & 4b_2 & -120 & 0 \\ 0 & -120 & 4b_2 & (7200+4b_2^2) & -120b_2 & -3600 \\ 120 & 0 & 120 & -120b_2 & 14400 & -120b_2 \\ -4b_2 & 120 & 0 & -3600 & -120b_2 & 7200+4b_2^2 \end{bmatrix}$$

így az (1) és (2) egyenletek együttható mátrixai ismertek. Az erő és elmozdulás vektorok komponenseinek kiírásával az egyenletek az alábbi alakot öltik:

$$M_1 \begin{bmatrix} \ddot{x}_{1x} \\ \ddot{x}_{1y} \\ \ddot{x}_{1z} \\ \ddot{x}_{1\theta x} \\ \ddot{x}_{1\theta y} \\ \ddot{x}_{1\theta z} \end{bmatrix} + K_1 \begin{bmatrix} \dot{x}_{1x} \\ \dot{x}_{1y} \\ \dot{x}_{1z} \\ \dot{x}_{1\theta x} \\ \dot{x}_{1\theta y} \\ \dot{x}_{1\theta z} \end{bmatrix} + C_1 \begin{bmatrix} x_{1x} \\ x_{1y} \\ x_{1z} \\ x_{1\theta x} \\ x_{1\theta y} \\ x_{1\theta z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ F_{\theta x} \\ F_{\theta y} \\ F_{\theta z} \end{bmatrix} \quad (7)$$

és

$$M_2 \begin{bmatrix} \ddot{x}_{2x} \\ \ddot{x}_{2y} \\ \ddot{x}_{2z} \\ \ddot{x}_{2\theta x} \\ \ddot{x}_{2\theta y} \\ \ddot{x}_{2\theta z} \end{bmatrix} + K_2 \begin{bmatrix} \dot{x}_{2x} \\ \dot{x}_{2y} \\ \dot{x}_{2z} \\ \dot{x}_{2\theta x} \\ \dot{x}_{2\theta y} \\ \dot{x}_{2\theta z} \end{bmatrix} + C_2 \begin{bmatrix} x_{2x} \\ x_{2y} \\ x_{2z} \\ x_{2\theta x} \\ x_{2\theta y} \\ x_{2\theta z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ F_{\theta x} \\ F_{\theta y} \\ F_{\theta z} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Ahol:

$F_{\theta x} = F_{\theta y} = F_{\theta z} = 0$, mivel az erő támadáspontja az origóban van.

C45 jelű acél DA20 jelű keményfém lapkával való forgácsolása esetében

$$F_x = 1090 \left(\frac{v(t)}{1700} \right)^{-0.12} \cdot h(t)^{0.86} \cdot b(t) \sin \kappa \quad [N] \quad (9)$$

$$F_y = 1090 \left(\frac{v(t)}{1700} \right)^{-0.12} \cdot h(t)^{0.86} \cdot b(t) \cos \kappa \quad [N] \quad (10)$$

$$F_z = 2180 \left(\frac{v(t)}{1700} \right)^{-0.12} \cdot h(t)^{0.86} \cdot b(t) \quad [N] \quad (11)$$

H $h(t) \leq 0$, vagy $b(t) \leq 0$, vagy $v \leq 0$, akkor

$F_x = F_y = F_z = 0$. Képleteinkben $|h| = \text{mm}$, $|b| = \text{mm}$ és $|v| = \text{mm/sec}$.

A pillanatnyi fogásmélység

$$a(t) = a_0 - (x_{1Y}(t) + x_{2Y}(t)) \quad (12)$$

a pillanatnyi forgácsszélesség

$$b(t) = \frac{a(t)}{\sin \kappa} = \frac{a_0 - (x_{1Y}(t) + x_{2Y}(t))}{\sin \kappa}, \quad (13)$$

a pillanatnyi forgácsvastagság

$$h(t) = (F - x_{1X}(t) - x_{2X}(t) + x_{1X}(t-\tau) + x_{2X}(t-\tau)) \sin \kappa + \\ + (x_{1Y}(t-\tau) + x_{2Y}(t-\tau) - x_{1Y}(t) - x_{2Y}(t)) \cos \kappa \quad (14)$$

és a pillanatnyi forgácsolási sebesség

$$v(t) = v_0 - (\dot{x}_{1Z} + \dot{x}_{2Z}) \quad (15)$$

A differenciálegyenletrendszer stabilitását harmonikus analízissel és szimulációs módszerrel vizsgáltuk. Célunk a különböző paramétersíkokban stabilitási térképet készíteni. Fontosak az $f - a$, $n - f$ síkokban értelmezett térképek, mivel e síkokban értelmezzük a forgácsolási paraméterek meghatározásának feltételrendszerét is.

A megoldás során változtatjuk az a_0 , f_0 és v_0 forgácsolási paramétereket, a munkadarab a_1 és a szerszám b_2 kinyúlását, az m_1 és m_2 tömegállandókat, a k_1 és k_2 csillapítási, valamint a C_1 és C_2 rugalmassági állandókat. Változónak tételezzük fel a τ holtidőt, azaz a munkadarab fordulatszámait és a κ főélel-helyezkedési szöget is.

Az alakképzési folyamat leírása céljából - az (1), (2) és (3) egyenletekből álló nemlineáris differenciálegyenletrendszer stabilitása esetén - elegendő vizsgálni a rendszer statikus modelljét, mely a tömeg és a csillapítási mátrixok nullázásával, azaz a dinamikus tagok elhagyásával származtatható, az alábbi alakban:

$$\underline{C}_1 \cdot \underline{x}_1 = \underline{F} \quad (16)$$

$$\underline{C}_2 \cdot \underline{x}_2 = \underline{F} \quad (17)$$

$$\underline{F} = \underline{F}(\underline{x}_1, \underline{x}_2) \quad (18)$$

A fenti nemlineáris egyenletrendszerből a deformációk és így az alkatrész alakhibája meghatározható.

Ha ismerjük \underline{F} értékét, akkor a deformációk explicit alakban is felírhatók:

$$\underline{x}_1 = \underline{g} \cdot \underline{F} \quad (19)$$

és

$$\underline{x}_2 = \underline{e} \cdot \underline{F} \quad (20)$$

ahol:

$$\underline{g} = \underline{C}_1^{-1} \quad (21)$$

$$\underline{e} = \underline{C}_2^{-1} \quad (22)$$

A \underline{g} és \underline{e} inverz mátrixok számunkra fontos néhány eleme a 3.10 ábrának megfelelően a következő:

$$g_{21} = \frac{\det C_{1 \begin{smallmatrix} 1 & 2 \end{smallmatrix}}}{\det C_1}$$

$$e_{21} = \frac{\det C_{2 \begin{smallmatrix} 1 & 2 \end{smallmatrix}}}{\det C_2}$$

$$g_{22} = \frac{\det C_{1 \begin{smallmatrix} 2 & 2 \end{smallmatrix}}}{\det C_1}$$

$$e_{22} = \frac{\det C_{2 \begin{smallmatrix} 2 & 2 \end{smallmatrix}}}{\det C_2}$$

$$g_{23} = \frac{\det C_{1 \begin{smallmatrix} 1 & 3 & 2 \end{smallmatrix}}}{\det C_1}$$

$$e_{23} = \frac{\det C_{2 \begin{smallmatrix} 2 & 3 & 2 \end{smallmatrix}}}{\det C_2}$$

ahol

$$\underline{C_{112}} = (-1) \times \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 4a_1 k_{1y} \\ 0 & 4k_{1z} & 4r_1 k_{1y} & -4a_1 k_{1z} & 0 \\ 0 & 4r_1 k_{1y} & 2r_1 k_{1y} + 6r_1 k_{1z} & -4r_1 a_1 k_{1z} & 0 \\ 0 & -4a_1 k_{1z} & -4r_1 a_1 k_{1z} & 4a_1 k_{1z} + 2r_1 k_{1x} & 0 \\ -4r_1 k_{1x} & 0 & 0 & 0 & 6r_1 k_{1x} + 4a_1 k_{1y} \end{bmatrix}$$

$$\underline{C_{122}} = \begin{bmatrix} 4k_{1x} & 0 & 0 & 0 & -4r_1 k_{1x} \\ 0 & 4k_{1z} & 4r_1 k_{1y} & -4a_1 k_{1z} & 0 \\ 0 & 4r_1 k_{1y} & 2r_1 k_{1y} + 6r_1 k_{1z} & -4r_1 a_1 k_{1z} & 0 \\ 0 & -4a_1 k_{1z} & -4r_1 a_1 k_{1z} & 4a_1 k_{1z} + 2r_1 k_{1x} & 0 \\ -4r_1 k_{1x} & 0 & 0 & 0 & 6r_1 k_{1x} + 4a_1 k_{1y} \end{bmatrix}$$

stb.

A munkadarab pontossága szempontjából a radiális ($x_{1y}=y$) irányú alakváltozás a legfontosabb. A két test összegzett elmozdulása ebben az irányban

$$y = y_1 + y_2 = F_x (g_{21} + e_{21}) + F_y (g_{22} + e_{22}) + F_z (g_{23} + e_{23}),$$

behelyettesítve az erőképleteket kiemelések után

$$y = a(x, t) f_0 \frac{\sin^y(\kappa - \alpha(t))}{\sin \kappa} \left(\frac{v(t)^z}{v_{ref}} \right) (C_{Fx} \sin \kappa (g_{21} + e_{21}) + C_{Fy} \cos \kappa (g_{22} + e_{22}) + C_{Fz} (g_{23} + e_{23}))$$

vagy

$$y = a(x, t) E(x)$$

Hasonlóan számítható az $x = x_{1x}$ és a $z = x_{1z}$ irányú elmozdulás is.

Könnyen belátható, hogy a Balaksin által javasolt ekvivalens erő a , b és c konstansai az y irányra

$$a = g_{21} + e_{21}$$

$$b = g_{22} + e_{22}$$

$$c = g_{23} + e_{23}$$

A munkadarab és a szerszámrendszer saját merevsége is figyelembe vehető. Ezekre ugyanis külön-külön jó helyettesítő modelljeink vannak, saját deformációikat jól tudjuk számítani pl. a [118] szerint.

IRODALOMJEGYZÉK

- 1 Taylor, F.W.: On the Art of Metall Cutting, Transactions of the ASME, vol.28, 1901
- 2 Balaksin, B.Sz.: Osznovi tyehnologii masinosztroenyija Masgiz, Moszkva, 1966
- 3 Szokolovszkij, A.P.: Raszcsoti tocsnosztyi obrabotki na metallovezsuscsih sztankah Masgiz, Moszkva, 1952
- 4 Korszakov, V.Sz.: Tocsnoszty mechanicseszkoi obrabotki Masgiz, Moszkva, 1962
- 5 Kovan, V.M., Korszakov, V.Sz.: Osznovi tehnologii masinosztroenyija
- 6 Szokolovszkij, A.P.: Naucsnyje osznovü tyehnologii masinosztroenyija Masgiz, Moszkva, 1955
- 7 Mitrofanov, Sz.P.: A csoportmegtűntetés technológiai alapjai Műszaki Könyvkiadó, 1962
- 8 Ross, D.T.: A generalized technique for symbol manipulation and numerical calculation Comm. of the ACME 4.3, 1961, March.
- 9 Goranszkij, G.K.: Raszcsot rezsimov rezanyija pri pomoscsi EVM Izd. AN BSzSzR, Minszk, 1963
- 10 Vámos, T.: Automatic control and artificial intelligence 7th IFAC World Congress, Helsinki, 1978

- 11 Hatvany, J.: Néhány új irányzat a gépgyártás automatizálásában
III. Automatizálási Kollokvium, Budapest, 1966
- 12 Hajós, Gy.: Teendők diszkrét gyártó folyamatok integrált anyag- és adatfeldolgozó rendszereinek bevezetésére az V.ötéves tervben
4-7401-T OMFB Tanulmány, 1975
- 13 Inaba, S.: Automation of machine factory using CNC with large capacity bubble memories and robot
MANUFACONT'80, Budapest, 1980
- 14 W.H.P.Leslie: NC felhasználók kézikönyve
Műszaki Könyvkiadó, 1972
- 15 Opitz, H., Simon, W.: The programming of NC machines with EXAPT
Machinery and Production Engineering, 1967, Aug.
- 16 MINIAPT, Reference manual,
OKI-Electric, 1974
- 17 UNIAPT, Reference manual, 1976
- 18 OKIAPT, Reference Manual, 1976
- 19 Vymer, I.: The AUTROPROG System, PROLAMAT'69 Konferencia, Róma, 1969
- 20 Kochan, D.: The SYMAP System, PROLAMAT'69 Konferencia, Róma, 1969

- 21 Pruuden, J.Tamm, B.: The SAP System, PROLAMAT'69
Konferencia, Róma, 1969
- 22 FORTAP alkalmazási kézikönyv, SPE, 1975
- 23 Takeyama, K.: MELTS - Software for lathe operations
Bulletin of MEL, 33/1979
- 24 COMPACT, Reference Manual, MDSI, Ann Arbor,
1976
- 25 ELAN Reference Manual, Jung, 1980
- 26 PHILIPHE II. Reference Manual, Hewlett-Packard,
1981
- 27 EASYPROG Reference Manual, Geldemeister, 1973
- 28 OKISURF-NC language for sculptured surface
OKI-Electric, 1974
- 29 PROMO-logiciel de programmation automatique des machines-
outils
Progres technique 29/1981
- 30 Juhász M., Olajos J.: A GTIPROG mikroszámítógépes NC prog-
ramozási rendszer
Gépgyártástechnológia, 1983/10
- 31 Cvetkov, V.D.: Szisztéma avtomatizacii projektirovanyija
technologicseszkij processzov, Masgiz,
Moszkva, 1972
- 32 Goranszkij, G.K.et all.:Avtomatizacija technicseszkova
normirovanyija rabot na metallovezsuscsh
sztankah
Masgiz, Moszkva, 1970

- 33 Gilman, A.M.: Ob algoritmiczeszkom projektyirovanyii
tyechnologicseszkih processzov
Szbornyik problemi kibernetiki
Fizmatgiz, 1960/3
- 34 Tóth, T.: A forgácsolási paraméterek számítógépes
optimalizálása esztergálás esetére a meg-
munkáló rendszer rugalmas deformációinak
figyelembevételével
Kandidátusi értekezés, 1976
- 35 Somló, J et all.: Szerszámgépek optimalizáló adaptív
irányítása. MTA SZTAKI közlemények 1973/5.
- 36 Kochan, D.: Fertigungsprozessgestaltung und Informations-
bearbeitung
VEB Verlag Technik, Berlin, 1977
- 37 Jacobs, H.-J.: Optimális forgácsolás
Műszaki Könyvkiadó, 1981
- 38 Makarov A.D.: Optimizacia processzov rezanyija
Masinosztroenyie, Moszkva, 1976
- 39 König, W., Depiereux, W.R.: Wie lassen sich Vorschub und
Schnittgeschwindigkeit optimieren
Industrie Anzeiger 91, 1969
- 40 Goranszkij, G.K.: K tyeorii avtomatizacii inzsenyernova
truda
Izd. AN BSzSzR, Minszk, 1962
- 41 Cvetkov, V.D.: Avtomatizacija projektirovanyija technolo-
gicseszkik processzov i programm dlja
sztankov sz CsPU
V knyige "Programmnoe upravlenyije sztankami"
Nauka, Moszkva, 1975

- 42 TAUPROG alkalmazói kézikönyv, GTI, 1973
- 43 Tóth, T.: A TAUPROG programrendszer
Gépgyártástechnológia, 1973/4
- 44 Vadász, D.: Tengely- és tárcsaszerű alkatrészek műveleti
sorrendtervezésének automatizálása
Kandidátusi értekezés, 1982
- 45 Nissen, K., Haugrud, B.: Automation of operation planning
by small lot production
Maskin, 1968/10
- 46 Nissen, K.: AUTOPROS Automated Process Planning System
CIRP Conference, Genf, 1969
- 47 Iwata, K., Kakino, Y.: Development of Non-Part Family Type
Computer Aided Production Planning System CIMS/
PRO
PROLAMAT '79 Conference, USA, Ann Arbor, 1979
- 48 Okino N., Kakazu, H., Kubo, H.: TIPS-technical information
processing system for CAD/CAM
PROLAMAT'79, Ann Arbor, USA, 1979
- 49 Tipnis V.A. et al.: CAPP system for aircraft engine
rotating parts
PROLAMAT'79, Ann Arbor, USA, 1979
- 50 Barash, M.M.: Programming Language for Computerized
Manufacturing Systems
PROLAMAT'79 Conference, USA, Ann Arbor, 1979
- 51 Ewersheim, W., Fuchs, H.: Automatische Arbeitsplan-
erstellung - Anwendung des Systems AUTAP
für allgemeine rotationsteile
Industrie-Anzeiger, 1979/7

- 52 Tempelhof, K.-H.: A system of CAPP for machine parts
PROLAMAT'79, Ann Arbor, USA, 1979
- 53 MIPLAN - Reference Manual
MDSI, Ann Arbor, USA, Michigan
- 54 Küttner, R., Scseglov, N.: A complex CAPP and optimization
for machine production
PROLAMAT'79, Ann Arbor, 1979
- 55 GEOMETR'66 Jazik dlja opisanyija detalej masin
Vücsiszlityelnaja Technika v Masinosztroenyii
1967/11
- 56 Coons, S.A.: Surfaces for CAD of space form
MIT Project, MAC-TR-41 (1967)
- 57 Bezier, P.E.: UNISURF, from styling to tool-shop
CAPE'83 konferencia, Amsterdam, 1983
- 58 Sabin, M.: Trinomial basis function for interpolation
in triangular regions
British Aircraft Corporation, 1971
- 59 Renner, G.: Pockop V.: A new method for local smooth
interpolation
Eurographics'81 konferencia, Darmstadt, 1981
- 60 Uj, J.: A cipőipari direkt fröccsöntő szerszámok tervezési elvei.
Kandidátusi értekezés, 1983
- 61 Cser, L., Uj, J.: A számítógépes járműkarosszéria tervezés
néhány matematikai módszere. Finommechanika-Mikrotechnika
21.évf. pp 280-282
- 62 Hajós, Gy.: Bevezetés a geometriába
Tankönyvkiadó, 1964

- 63 Walter, W.: Gekrümmte Flächen als Granz- und Leitflächen
beim fünfsichtigen Fräsen
Industrie Anzeiger, 81 v 8.10 1980/192
- 64 Schmeer, E., Schmatz W.: 5-achsiges Fräsen von Hochleistungs-
pumpenradern
Wt-Zeitschrift für Industrielle Fertigung
67/1977
- 65 Braid, I.C.: The synthesis of solids bounded by many
faces. University of Cambridge, Comm. of ACM,
vol.18, 1975
- 66 Veenma, P.: ROMULUS - The design of a geometric modeller
CAM-I, 1979
- 67 Voelcker, H.B., Requicha A.A.G.: Geometrical Modelling
of mechanical parts and processes
IEE Computer J., vol.10, 1977
- 68 Applicon La Série 4000, Material et logiciel, Applicon,
1982
- 69 Báthor, M., Siegler A.: Graphical modelling and motion
simulation system
COMPCONTROL'79 konferencia, Sopron, 1979
- 70 Endrődy, G., Horváth, M., Simon, V.: Háromdimenziós
alkatrészprogramozási nyelv
MTA SZTAKI tanulmány, 1976
- 71 Váradi, T.: An experimental system for interactive design
and manufacture of sculptured surfaces
Computer in industry 3/1982
- 72 Grabowski, H., Anderl, R.: Integration of design and
manufacture planning process based on a CAD System
Computer and Graphics, vol.7, 1/1983

- 73 Cvetkov, V.D.: Principi posztrojenyija i funkcionalnaja sztruktura szisztem avtomatizirovannova technologicseszkova projektirovanyija
Pribori i szisztemü upravlenyija
1977/4
- 74 EXAPT 11 Reference Manual,
EXAPT Verein, Aachen, 1974
- 75 Brujevics, N.G., Cseliscsev, B.E.: Voproszi avtomatizacii technologicseszkova projektirovanyija.
I. Formalnoe opiszanyije zadacsi technologicseszkova projektirovanyija
Technicseszkaja Kibernetika, 1974/5
- 76 Brujevics, N.G., Cseliscsev, B.E.: Voproszi avtomatizacii technologicseszkova projektirovanyija
II. Algoritmi technologicseszkova projektirovanyia mechanicseszkaj obratki detalej
Technicseszkaja Kibernetika, 1974/6
- 77 Suh N.P. et al.: Exploratory study of constraint design by functional requirements and manufacturing
NSF - Rann Grantee's Conference, 1978
- 78 Cvetkov, V.D.: Szisztemno - sztrukturnoe modelirovanyije i avtomatizacia projektirovanyija technologicseszkij processzov
Nauka i Technika, Minszk, 1979
- 79 Brujevics, N.G., Cseliscsev, B.E.: Avtomatizacia projektirovanyia technologicseszkij processzov
izgotovlenyija detalej na metalloresuscsem oborudovanyii
Masinovegyenyie 1977/1

- 80 Suh, N.P., Rinderle J.R.: Qualitative and quantitative use of design and manufacturing axioms
Annals of CIRP, 1982
- 81 Descotte, Y., Latombe J-C.: GARI: a problem solver that plans how to machine mechanical parts
Proceedings of IJCAI'81
- 82 Matsushima, K., Okada, N., Sata, T.: The integration of CAD and CAM by application of artificial intelligence techniques, Annals of CIRP, vol.31, 1982
- 83 Stöckman, W.: The AUTOPIT System
PROLAMAT'69 konferencia, Róma, 1969
- 84 FANUC-M Modell-E Reference Manual
Fujitsu FANUC, 1981
- 85 Horváth, M., et al.: Az egységes gépi programozás moduláris rendszere
SPE, 1974
- 86 Ed. Ross, D.T.: ICES-System General Description
MIT Report 49,
Boston, 1967
- 87 Software system ISP-II.
ITK AN ESSR
Tallin, 1981
- 88 Software System IPSI
ITK AN ESSR
Tallin, 1982

- 89 Software System MEMO, Version 1.0
ITK AN ESSR
Tallin, 1983
- 90 Horváth, M., Somló, J.: On the hierarchial systems,
optimization and adaptive control of
machine tools
8 th World Congress of IFAC, Kyoto, 1981
- 91 Horváth, M.: Integrált gyártórendszerek technológiai
programozása
Gépgyártástechnológia, 1973/4
- 92 Horváth, M.: NC esztergák számítógépes programozási
rendszerének felépítése
COMPCONTROL'72 Konferencia, Sopron
- 93 Horváth, M., et al: Az ESzR integrált gépipari AMT
rendszerének felépítése
MTA-SZÁTI-OMFB, 1975
- 94 Ellis, T.M.R., János, J.: The automatic generation of
CAD/CAM processors
PROLAMAT'79 konferencia, Ann Arbor, USA,
1979
- 95 Horváth M., Pál J.: Szakaszvezérlésű esztergák programo-
zási rendszerének felépítése
TECHNOS'70 Konferencia, Budapest, 1970
- 96 Horváth, M., Nagy S.: A FORTAP rendszer
Automatizálás 1972/9
- 97 Horváth, M.: Hungarian proposal for the 4000 type record
of CLDATA
SPE, 1973

- 98 ISO 3592-1978 szabvány: Numerical control of machines -
NC processor output - Logical
structure (and major words),
1978
- 99 Horváth, M. et al: Az egységes gépi programozási rendszer
processzor-posztprocesszor köz-
benső nyelve
SPE, 1971
- 100 Horváth, M. et al: Forgácsolt alkatrészek műveleti
sorrendjének számítógépes terve-
zése kis- és középsorozatgyártás
automatizálása konferencia
Győr, 1977
- 101 Horváth, M.: Se generativ process planning for part
manufacturing
PROLAMAT'79 konferencia, Ann Arbor,
USA, 1979
- 102 Horváth, M., Pál: Szakaszvezérlésű esztergák programozási
rendszerének felépítése
TECHNOS'70 konferencia, Budapest,
1970
- 103 Horváth, M. et al: Javaslat az egységes bemenő nyelv
alapjaira, általános felépítésére
és elemeire
SPE, 1973
- 104 Horváth, M. et al: A forgástest jellegű alkatrészek tel-
jes megmunkálását tervező rendszer
MTA SZÁTI-OMFB, 1975
- 105 Berta, M.: A szerkezetválasztás automatizálása
TECHNOS'75 konferencia, Budapest,
1975

- 106 Horváth, M., et al.: A technológiai elvek és módszerek egységesítése. A programozási rendszer egységes adatbázisa
SPE, 1973
- 107 Horváth, M.: Computer Aided Manufacturing Planning, Fixture and Tool Design
COMPCONTROL'77 Konferencia, Várna, 1981
- 108 Horváth, M.: Computer aided manufacturing planning, new methods and applications
3 emes JST Production Automatisation Konferencia, Toulouse, 1981
- 109 Horváth, M., Márkus, A.: Practical methods and techniques, new ventures in CAD/CAM (invited paper)
CAPE'83 Konferencia, Amsterdam 1983
Computer Applications in Production and Engineering
North-Holland, New York, 1983 pp 749-764
- 119 Votyinov, K.V.: Zsosztkosztj sztankov
Monitomas, Moszkva, 1949
- 111 Troszenszkij, Sz.P.: Tocsnosztj obrabotki na slifolvalnüh sztankah
Masgiz, Moszkva, 1953
- 112 Tobias, S.A.: Machine tool vibration
LTD, London-Glasgow 1965
- 113 Tlustý, J. Ismail, F.: Basic non-linearity in machining chatter
Annals of CIRP, vol.30/1/1981
- 114 Kugyinov V.V.: Dinamika sztankov
Masgiz, Moszkva, 1961

- 115 Stépán G.: On the stability of a differential equation with time lag
Periodica Polytechnica, 1978
- 116 Nagy S: A köszörülési folyamat adaptív optimáló irányítása
Kandidátusi értekezés, 1983
- 117 Horváth, M.: Povüsenyie tocsnosztyi formi i razmera detali pri kruglom slifovanyii putyom upravlenyia uprugimi peremescsenyijami szisztemi SZPID
Kandidátusi értekezés, Moszkva, 1966
- 118 Horváth, M., Tóth, T.: Forgácsolóerő- és erőkorlát meghatározása a megengedett mérethiba alapján
Gépgyártástechnológia 1968/4, 1968/6
- 119 Horváth, M., Somló, J.: A forgácsolási folyamatok optimalása és adaptív irányítása
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979
- 120 Gribovszki, L.: Gépipari megmunkálások
Tankönyvkiadó, Budapest, 1977
- 121 Horváth, M.: Módszer egyélű szerszámok éltartamának számítására
Gépgyártástechnológia, 1967/12
- 122 Somló, J.: Forgácsoló megmunkálások folyamatainak optimalási és irányítási problémái
Doktori értekezés, 1982
- 123 Marák, L.: Mintarendszer egyélű forgácsolószerszám kopottsági állapotának automatikus figyeléséhez
Diplomaterv, 1983 (4058)

- 124 Vámos, T., Báthor, M.: 3D Complex recognition using programmed illumination
5th ICPR konferencia, Florida, 1981
- 125 Hoang Dinh Trung: A palástköszörülés alakhibáinak vizsgálata
Diplomaterv, 1979 (3844)
- 126 Horváth, M., Molnár, B.E., Nagy S.: An attempt in high level automation of programming of NC lathes.
The FORTAP System
PROLAMAT'73 konferencia, Budapest, 1973
- 127 Parkinson, A.: Geometric Model and Database for Computer Aided NC Data Generation and Process Planning
Joint Anglo-Hungarian Seminar on Computer Aided Geometric Design
Budapest, 1982
- 128 Stefik, M., Aikins J, Balzer R.: The organization of expert systems
Xerox Palo Alto Research Centers, 1982
- 129 Kowalski, R.A.: PROLOG as a logic programming language
Preprint of Workshop on LPIS Los Angeles, 1981
- 120 Márkus, A., et all: Fixture design by PROLOG
MICAD'82 konferencia, Párizs, 1982
- 131 Horváth, M., Márkus A.: Operation sequence planning using optimization concepts and logic programming
9th World Congress IFAC, Budapest, 1984
- 132 Warren, D.H.: WARPLAN: a system for generating plans
University of Edinborough, Memo N^O76, 1977
- 133 Vámos, T.: Expert system - information technology
MTA SZTAKI, E/19, 1983

- 134 Demetrovics, J., Knuth, E., Radó P.: Specification Meta
Systems
Computer, Vol.15, May 1982

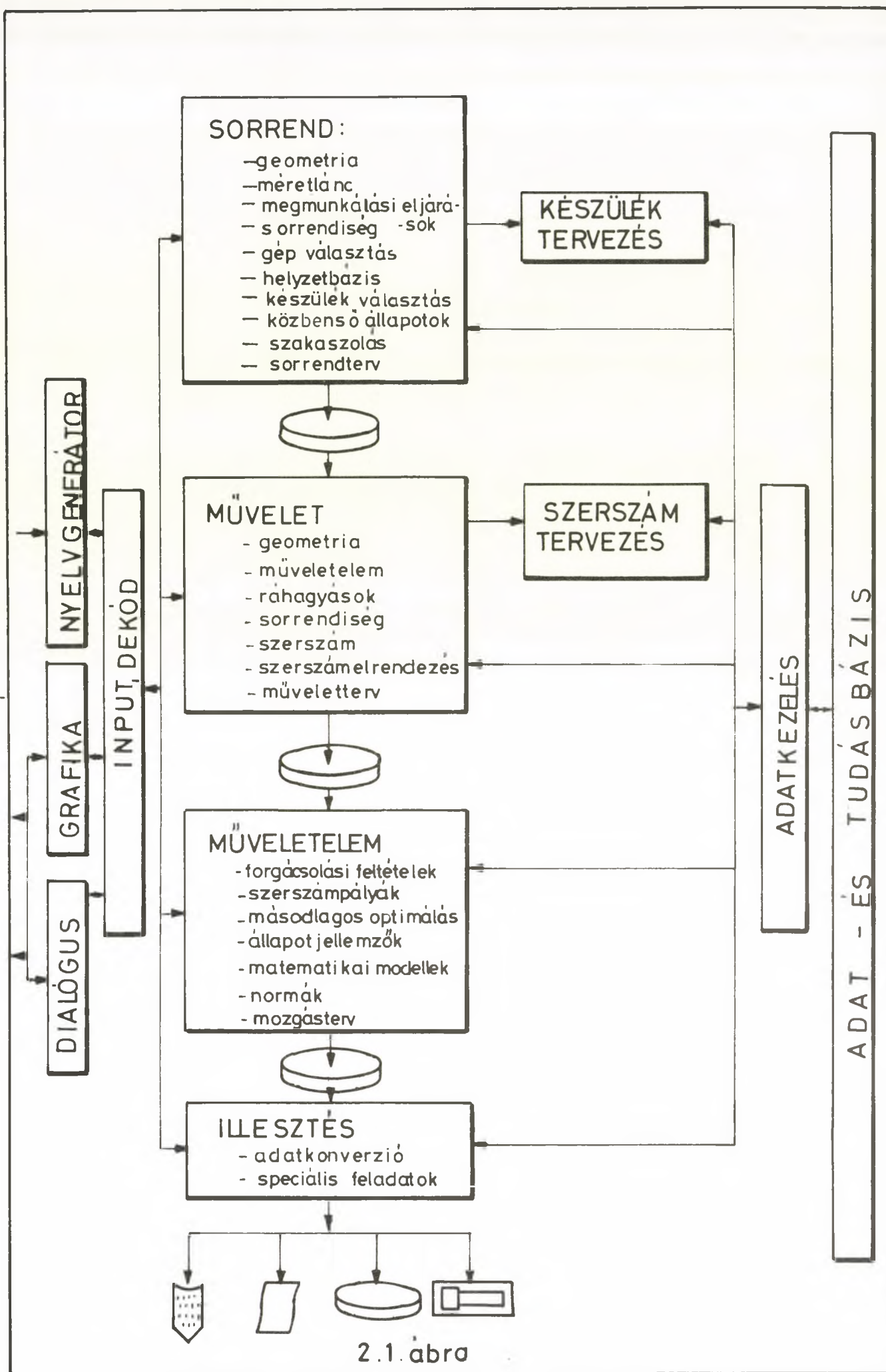
- 135 Bali, J.: Forgácsolás
Egyetemi jegyzet, 1980

- 136 Yoshikawa, H.: Automation of thinking in design
CAPE'83 konferencia, Amsterdam, 1983

- 137 Horváth, L., Szabóné V.K.: A GLEDA mikroszámítógépes
műveleti sorrendtervező rendszer
Gépgyártástechnológia, 1983/10

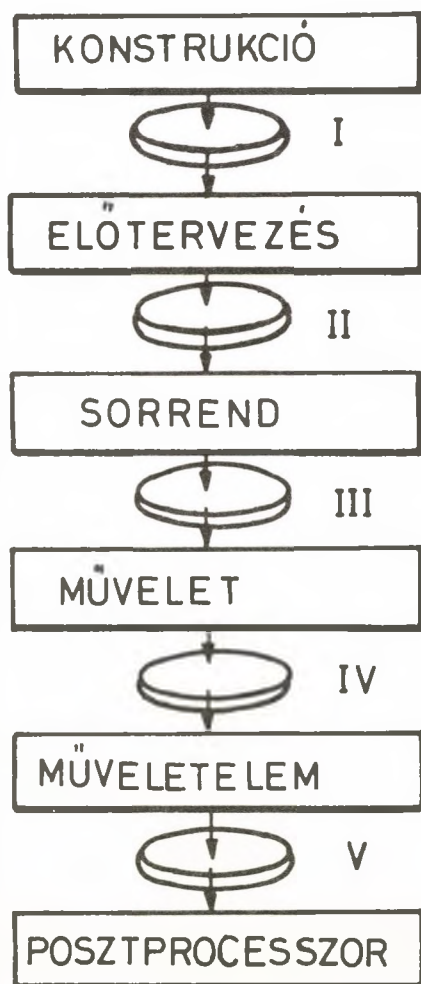
- 138 FAUN felhasználói kézikönyv
BME-GT, 1984

- 139 Harris, C.M. editor: Shock and vibration handbook, vol 2.
McGraw-Hill, Toronto, London, 1961

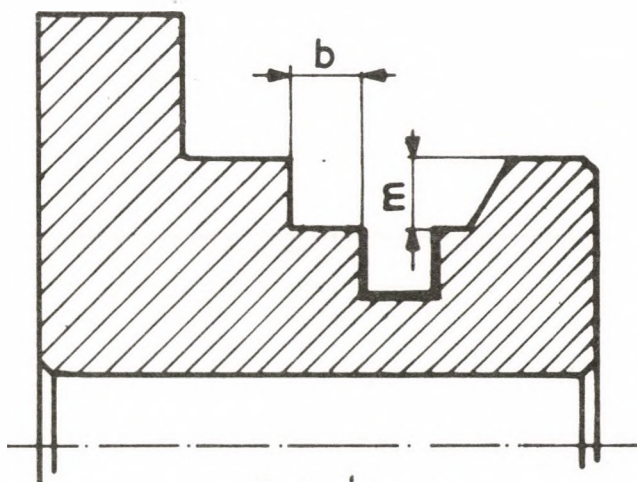


TECHNOLÓGIAI PARAMÉTEREK	ESZTERGÁLÁS	FÚRÁS	MARÁS
SZERSZÁMPÁLYÁK	ÜRESJÁRAT	NAGYOLO ESZTERGÁLÁS	SIMITÓ ESZTERGÁLÁS

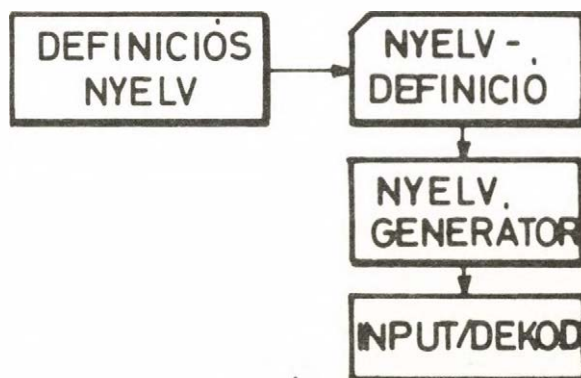
2.2. ábra



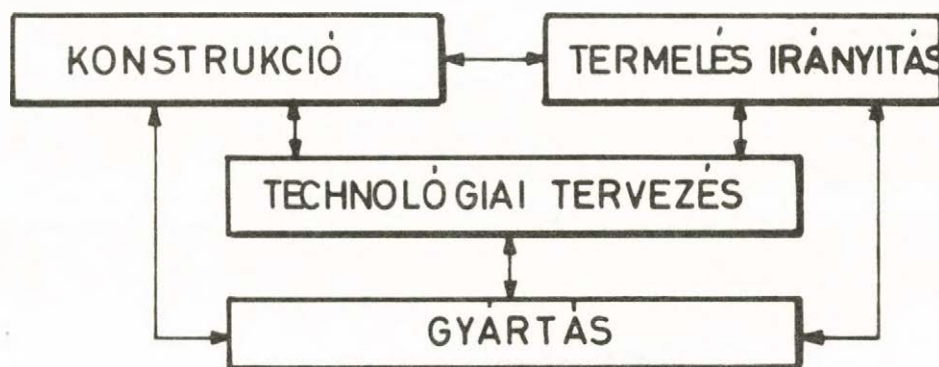
2.3. ábra



2.4. ábra

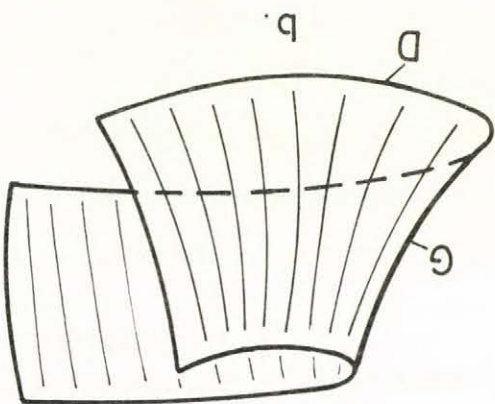
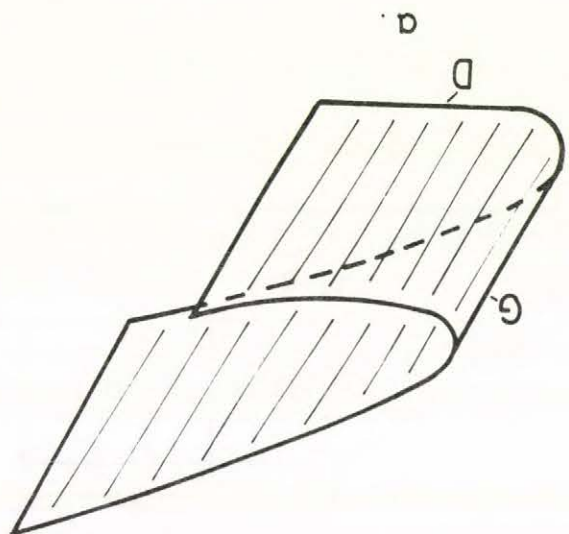
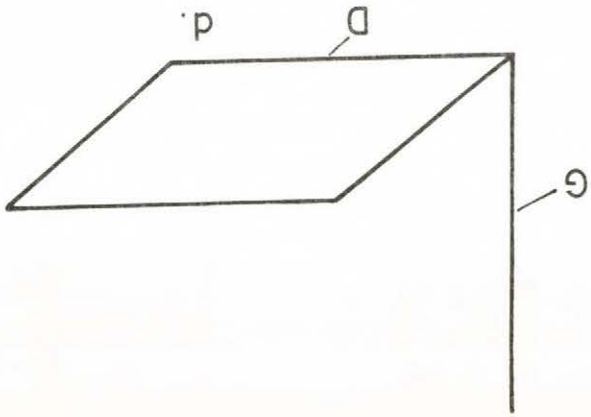
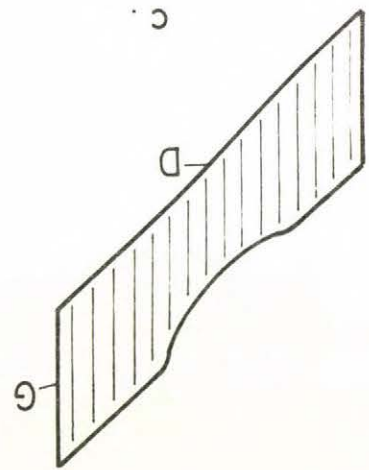
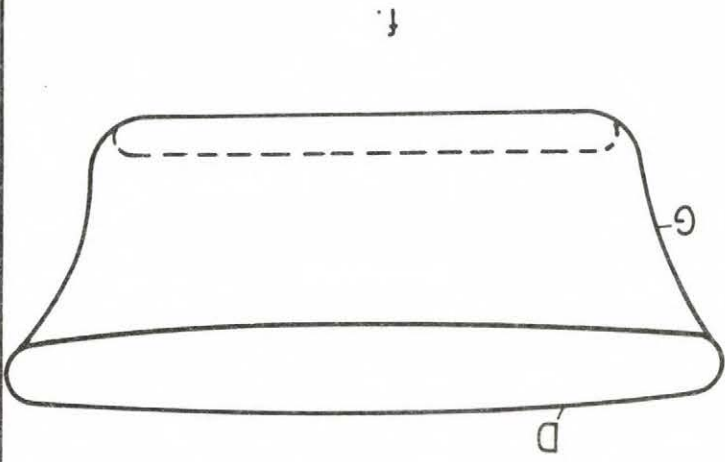
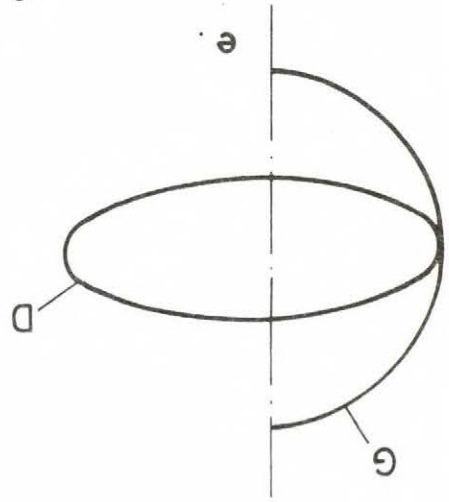


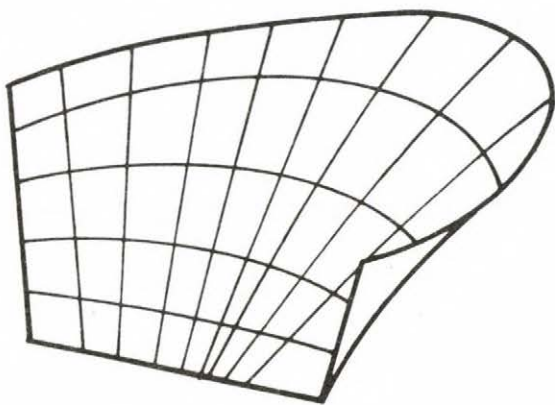
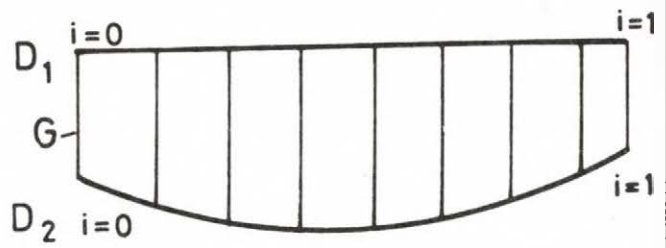
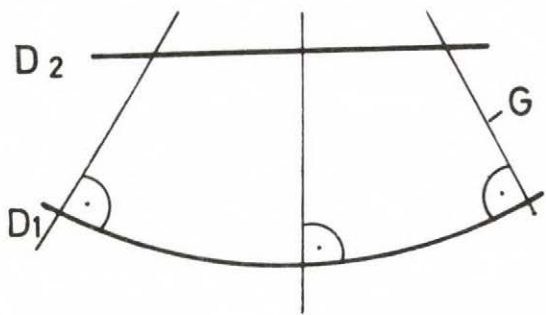
2.5. ábra



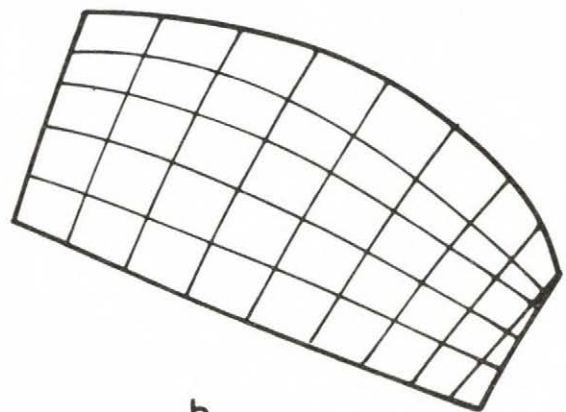
2.6. ábra

3.1. ábra



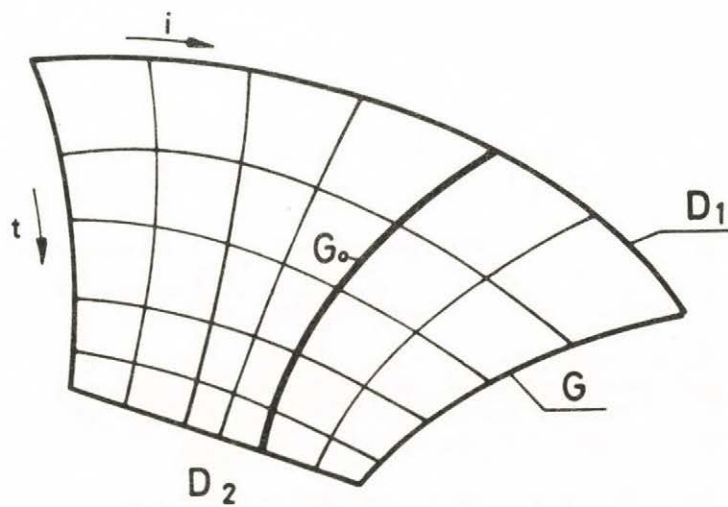


a.

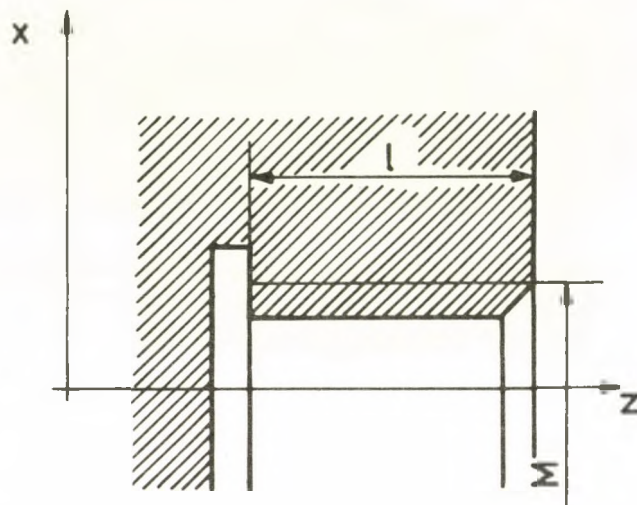
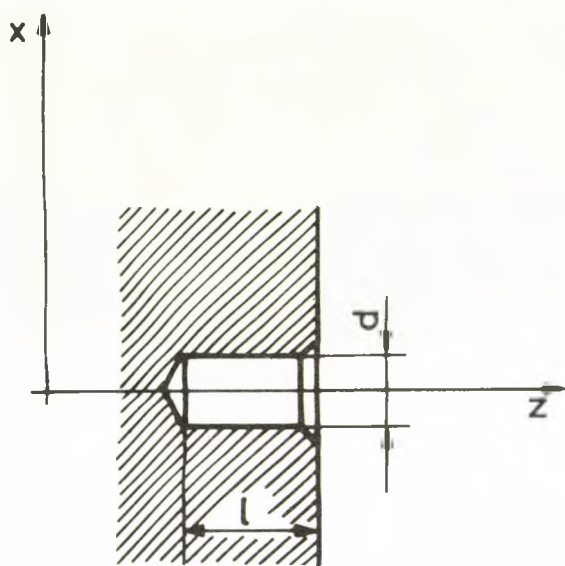
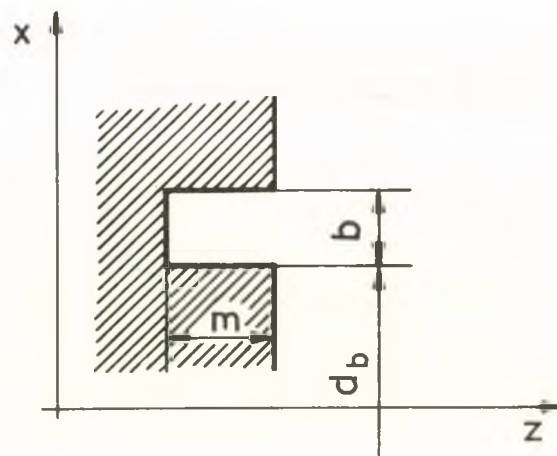
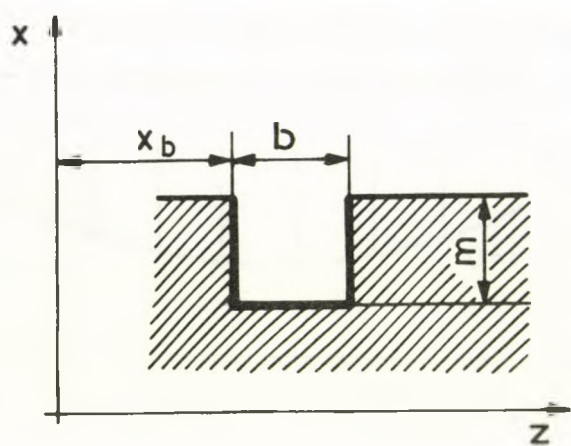


b.

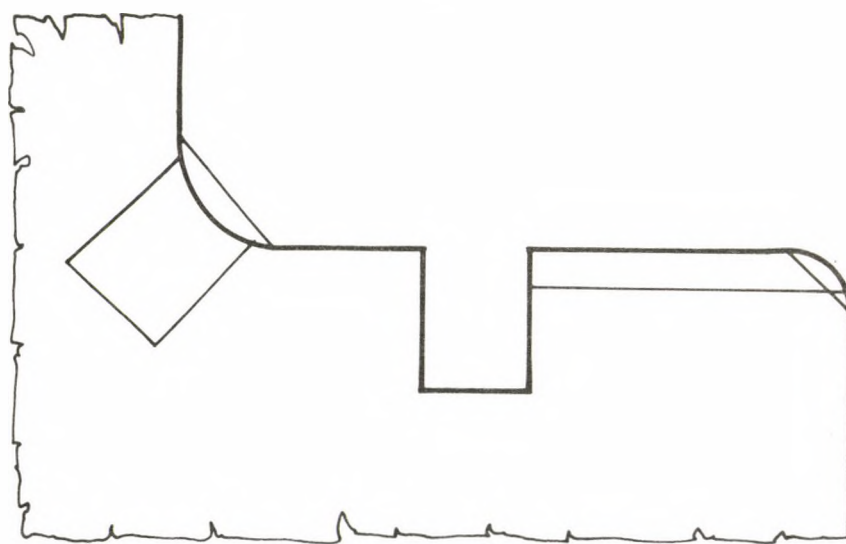
3.2 ábra



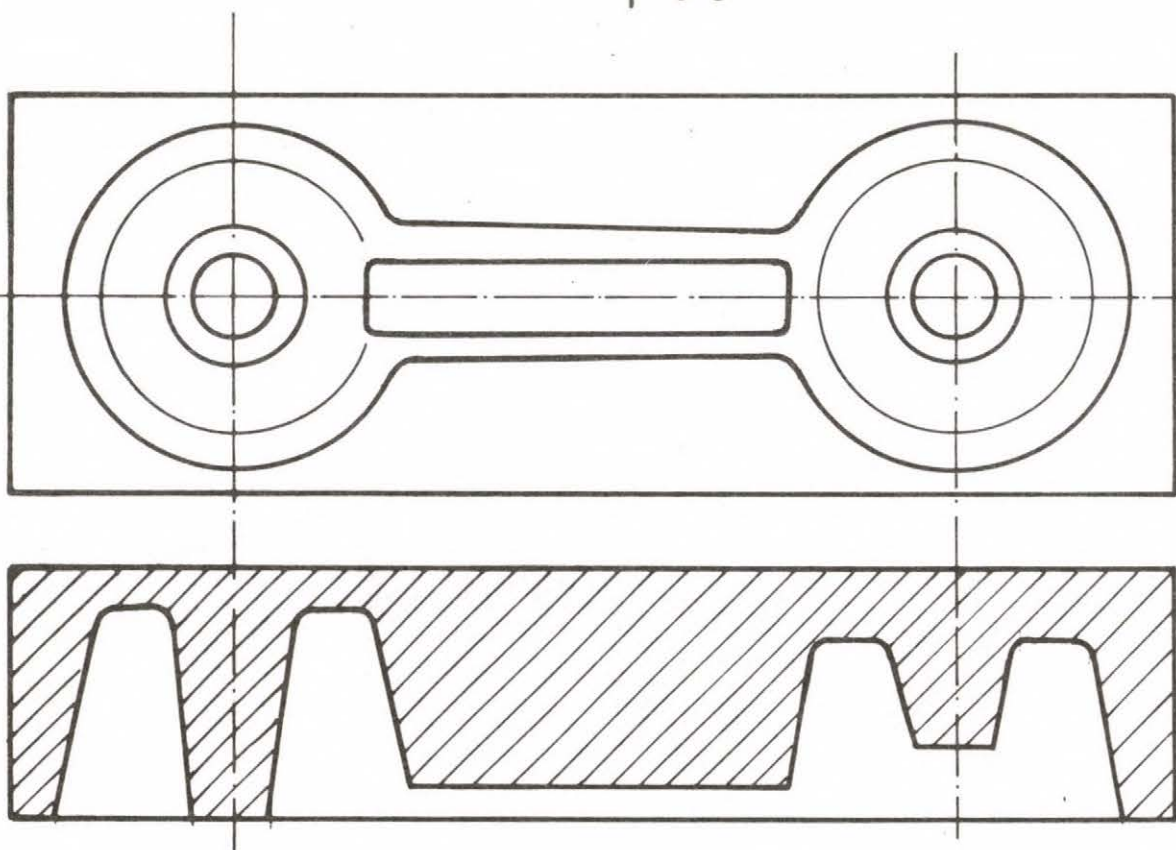
3.3 ábra



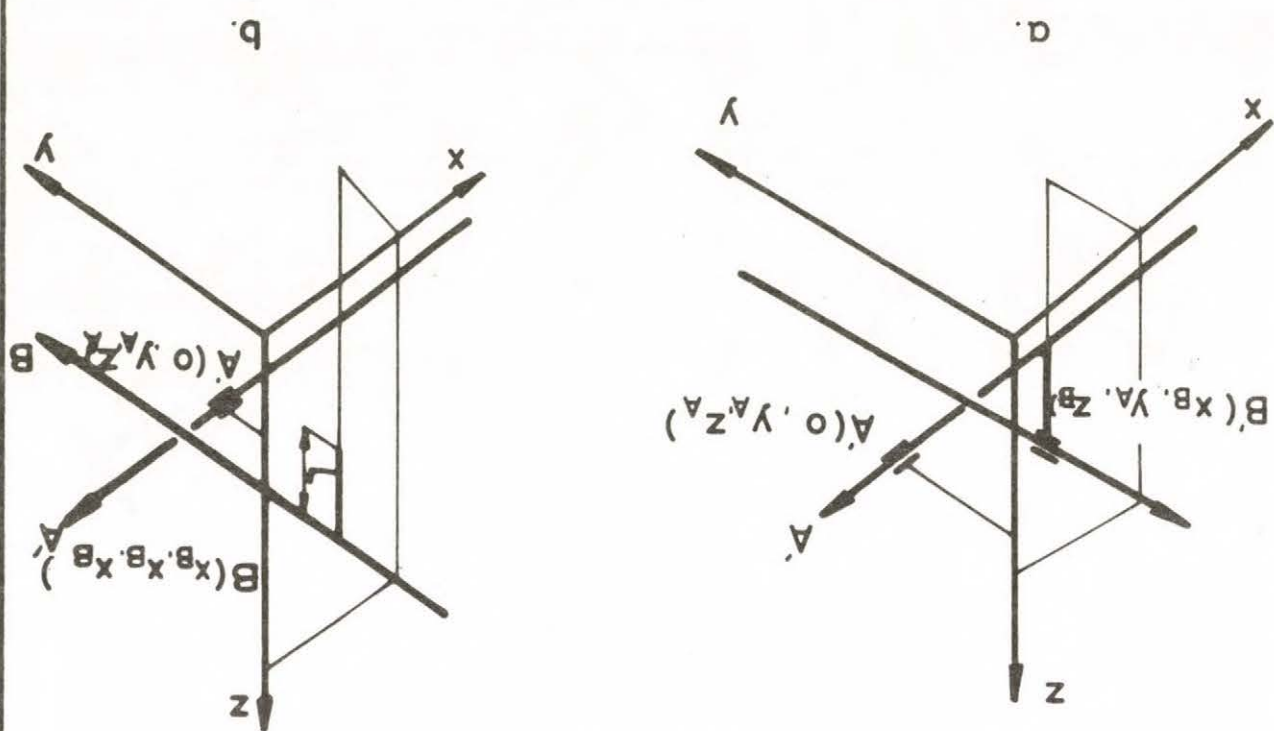
3.4. ábra



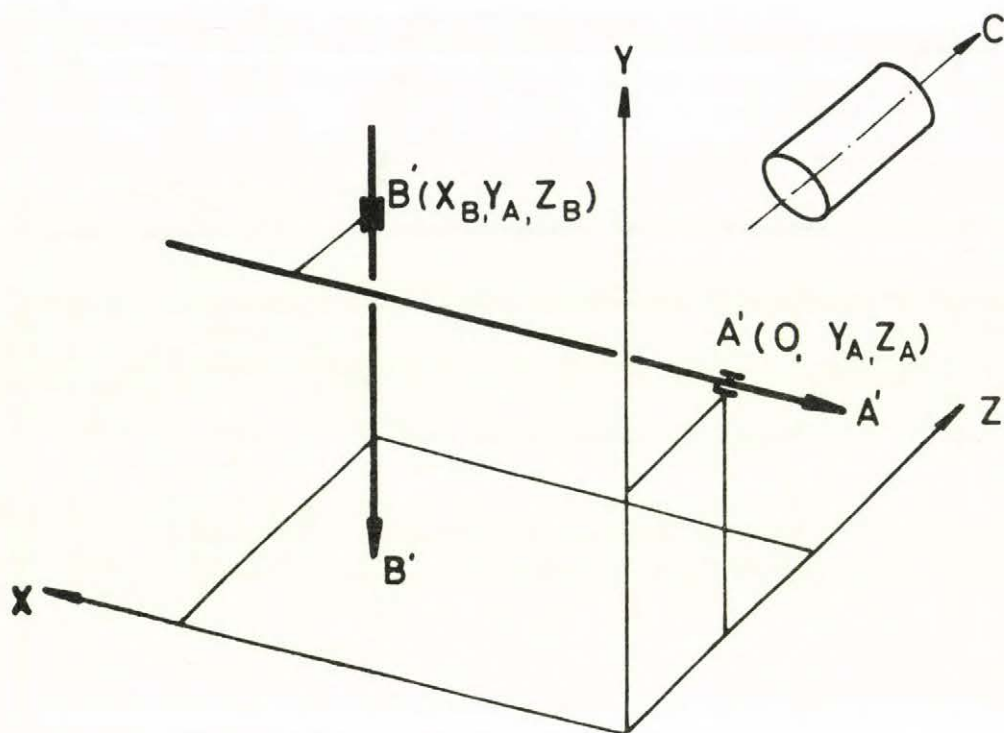
3.5 ábra



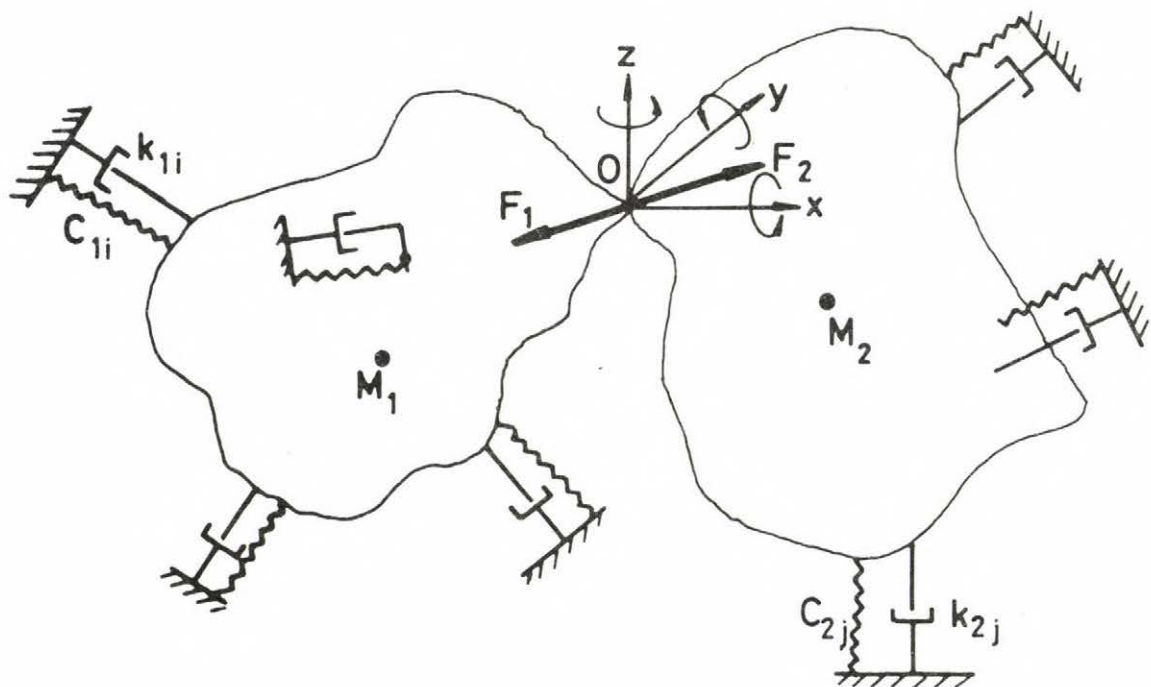
3.6. ábra



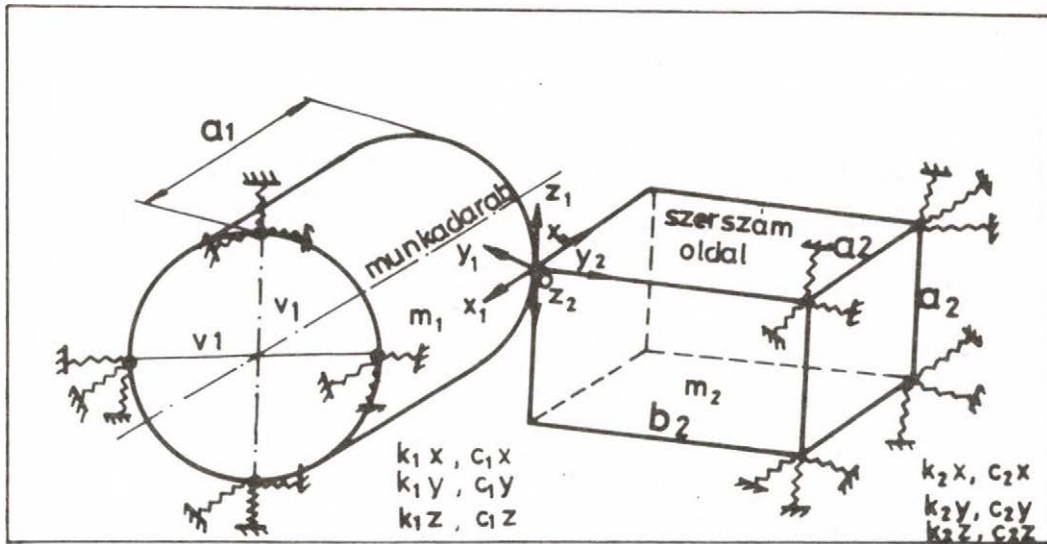
3.7. ábra



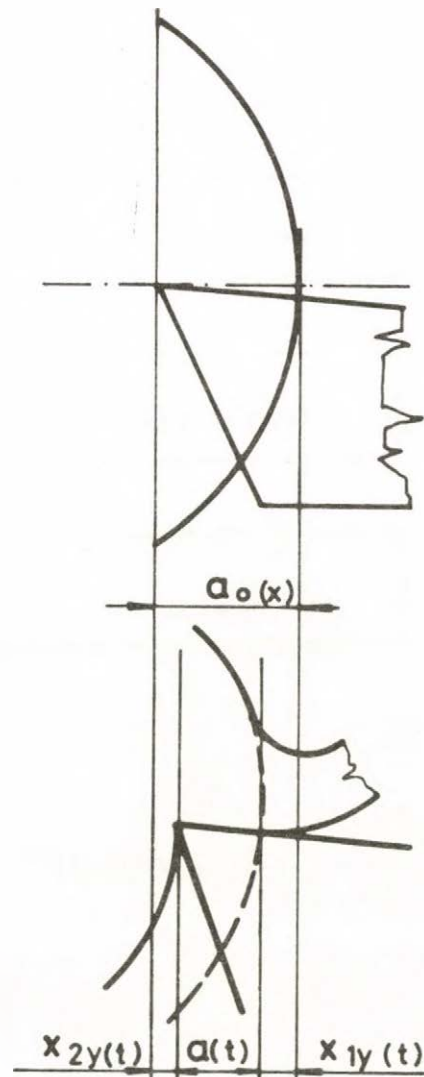
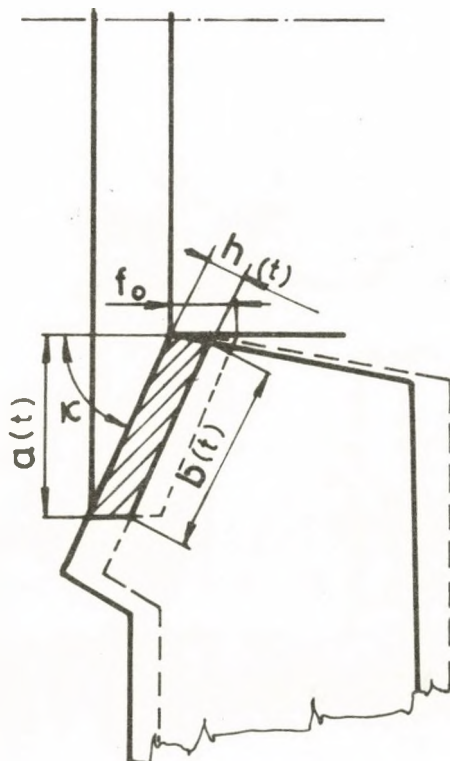
3.8. ábra .



3.9. ábra .

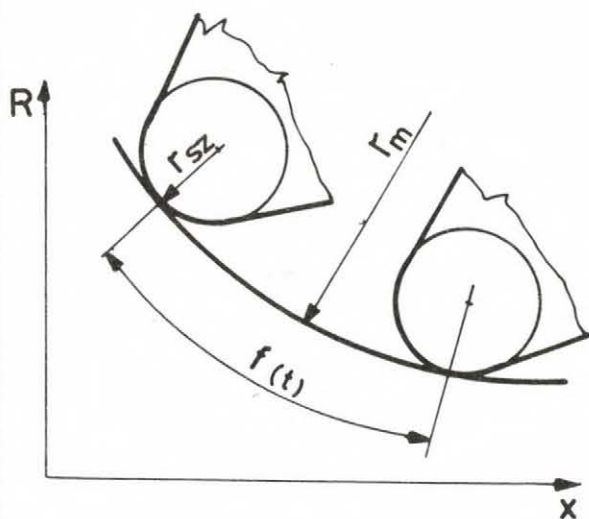


3.10. ábra

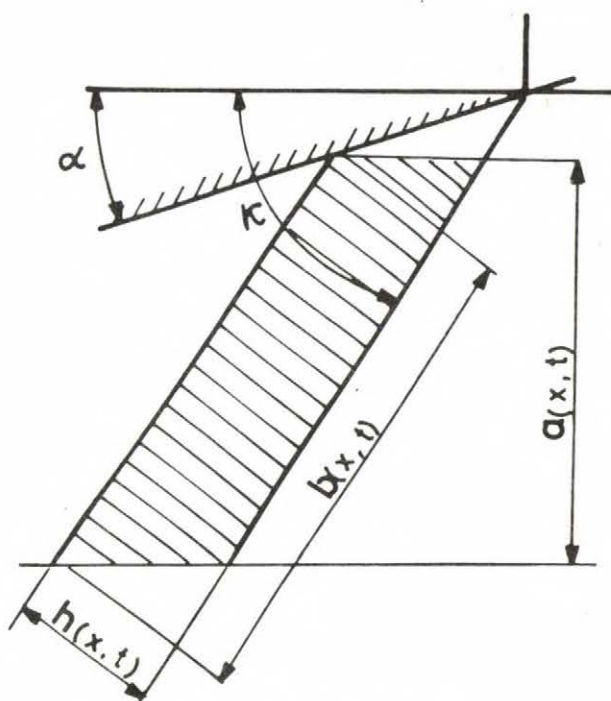


3.11. ábra

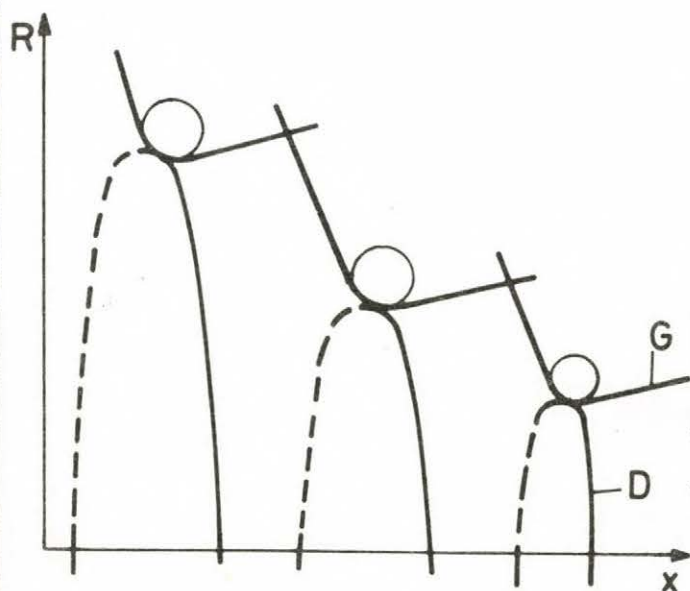




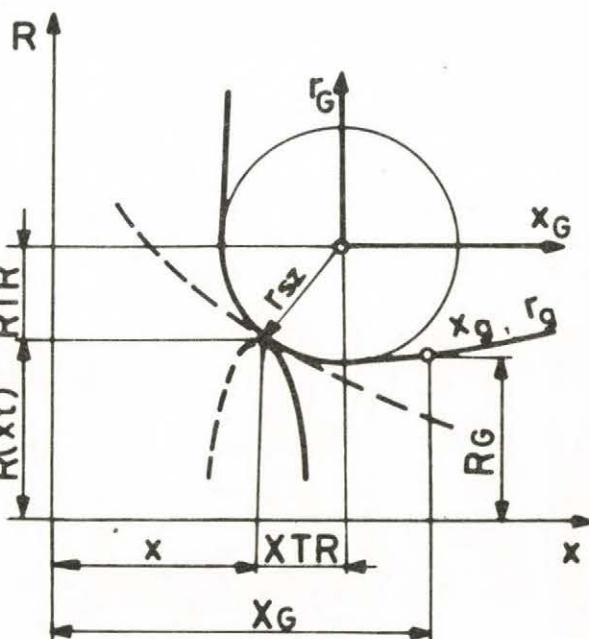
3. 15. ábra.



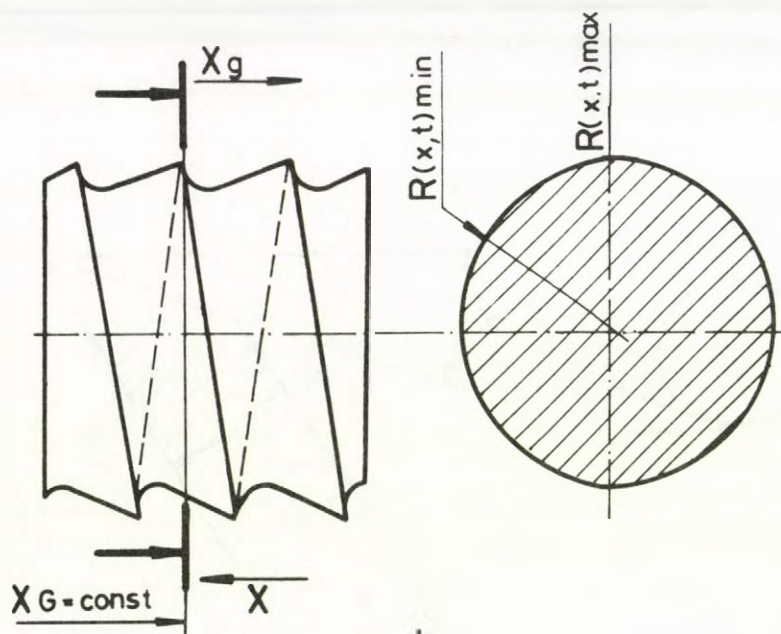
3. 16. ábra



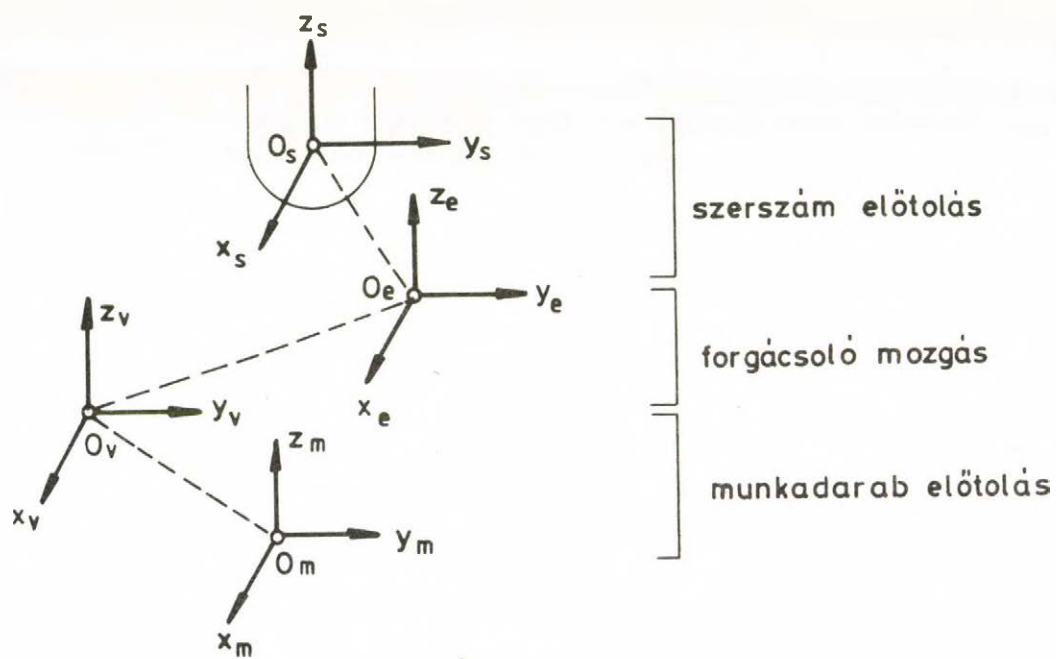
3. 17. ábra.



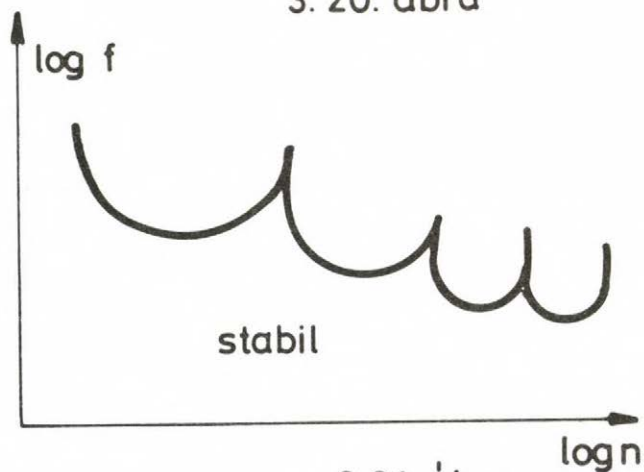
3. 18. ábra.



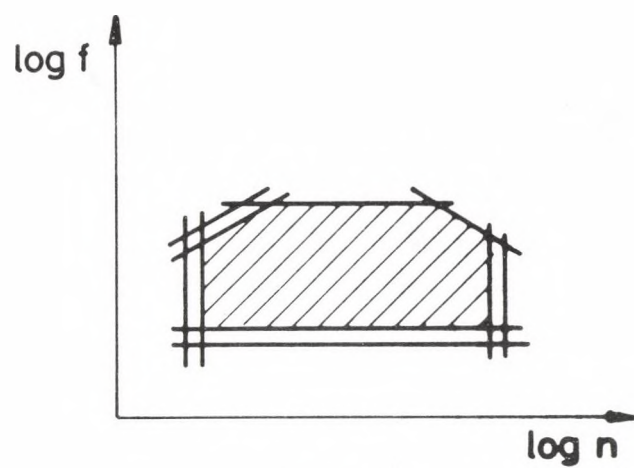
3.19. ábra



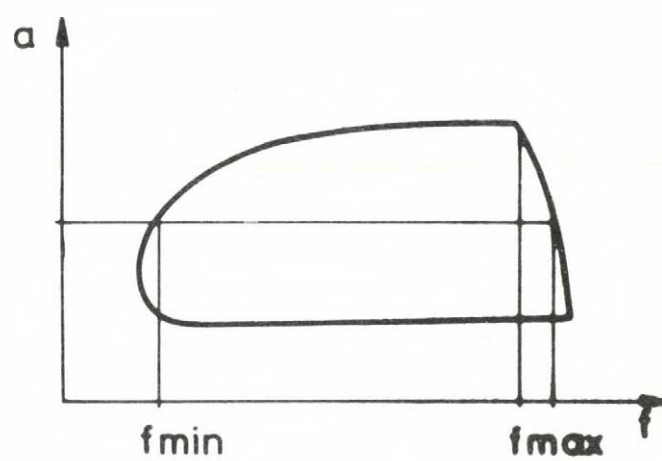
3.20. ábra



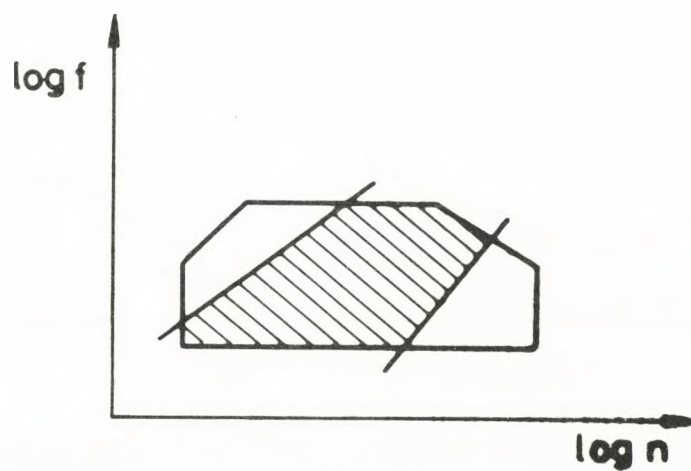
3.21. ábra



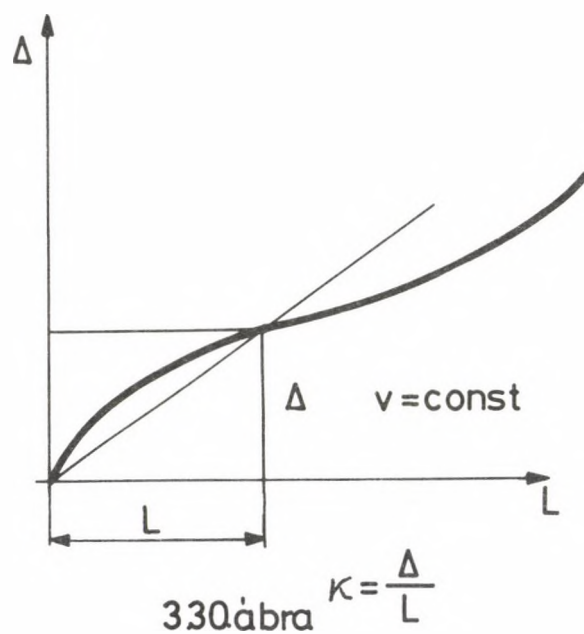
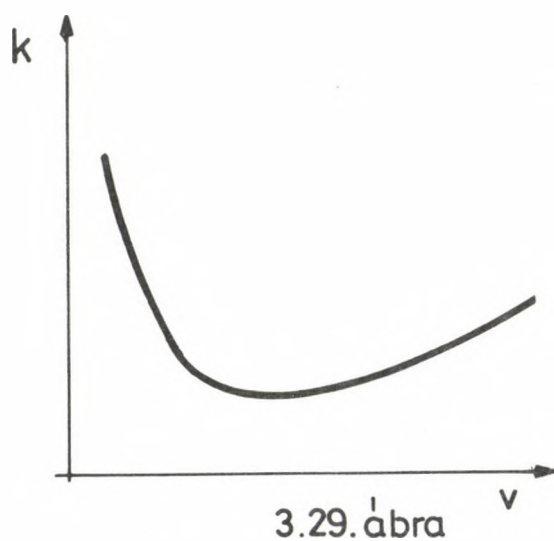
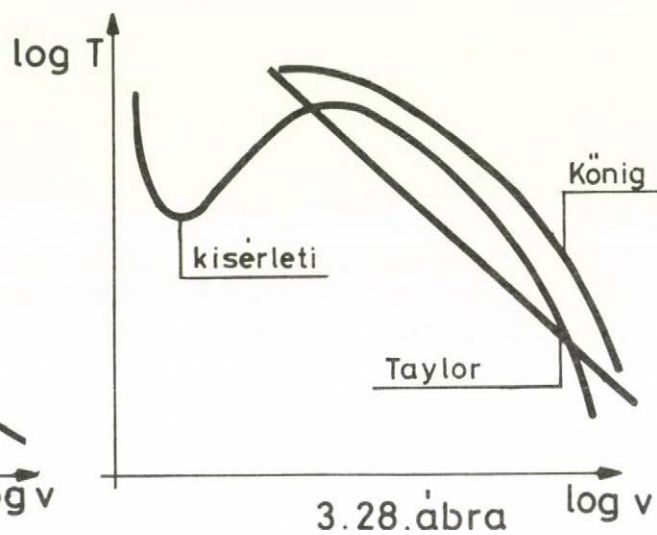
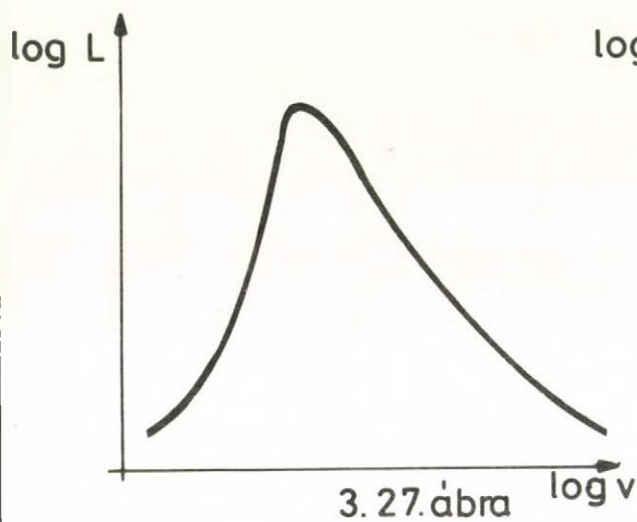
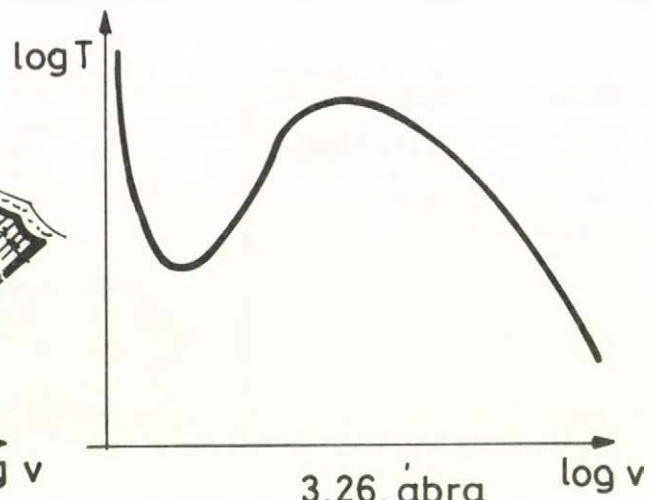
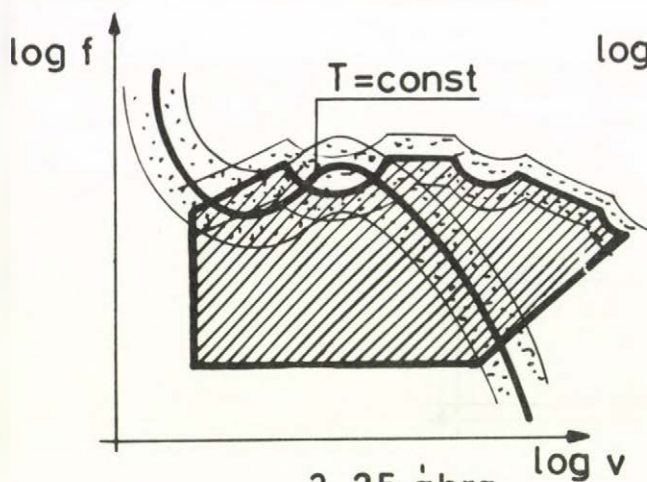
3.22. ábra

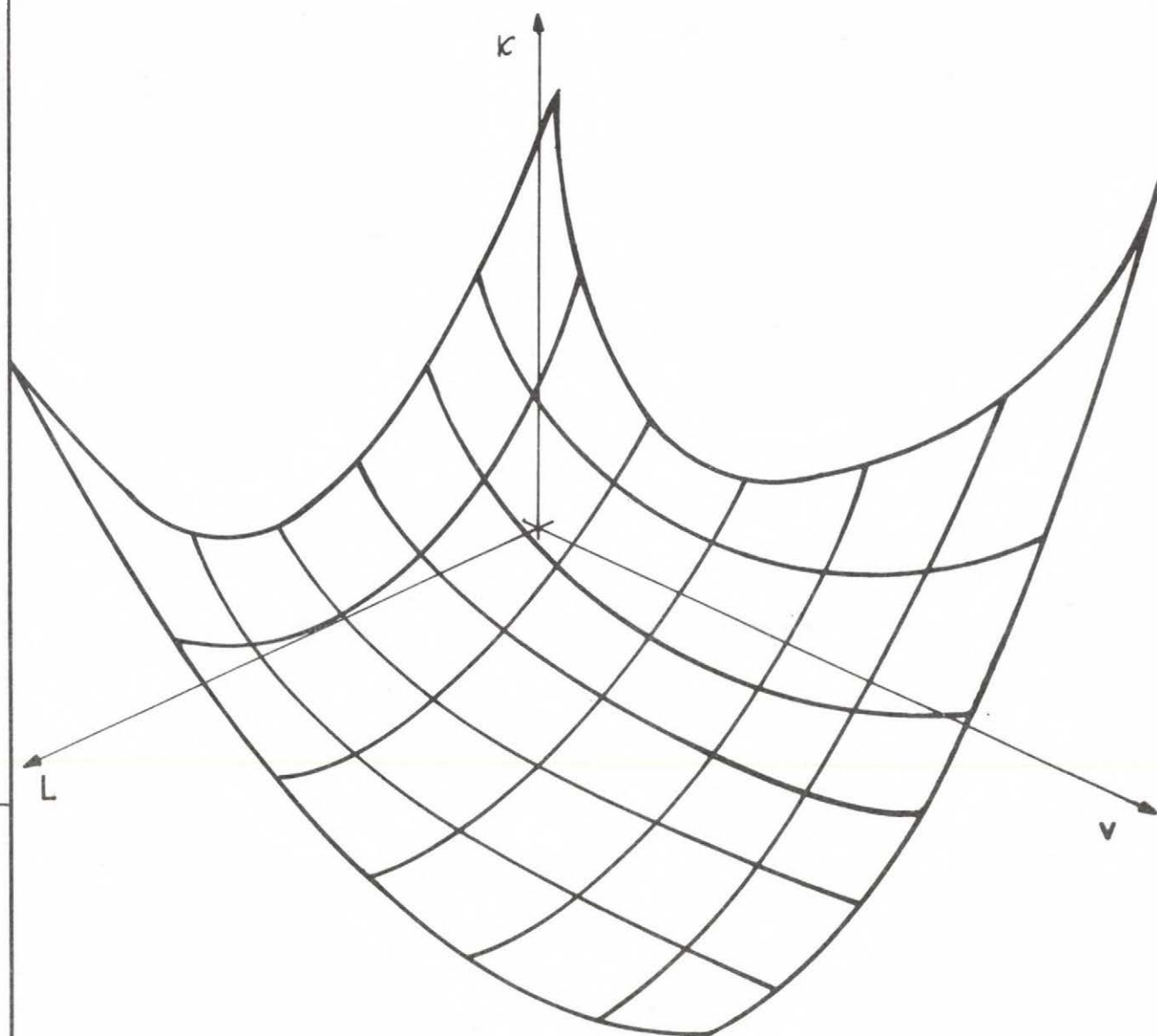


3.23. ábra

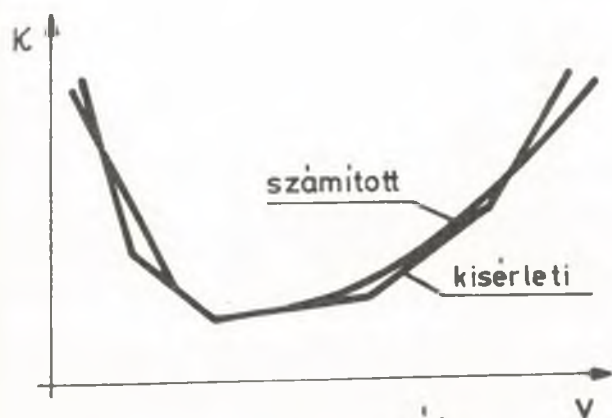


3.24. ábra

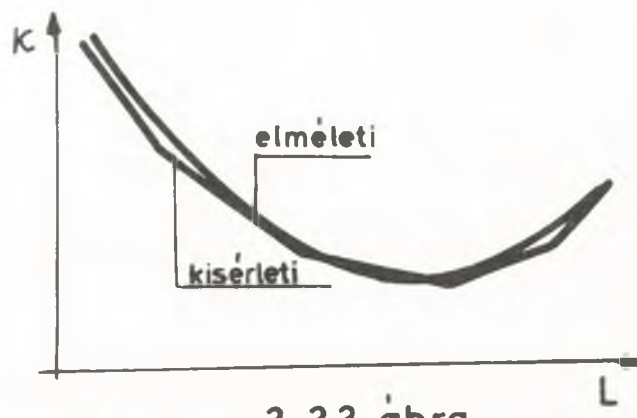




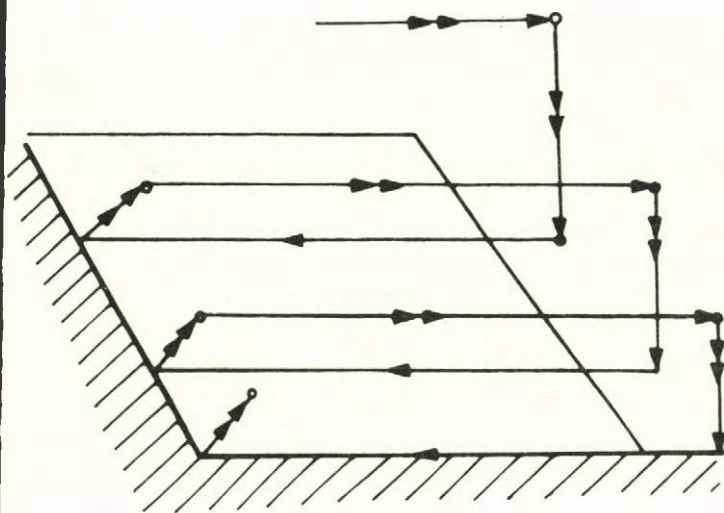
3.31. ábra



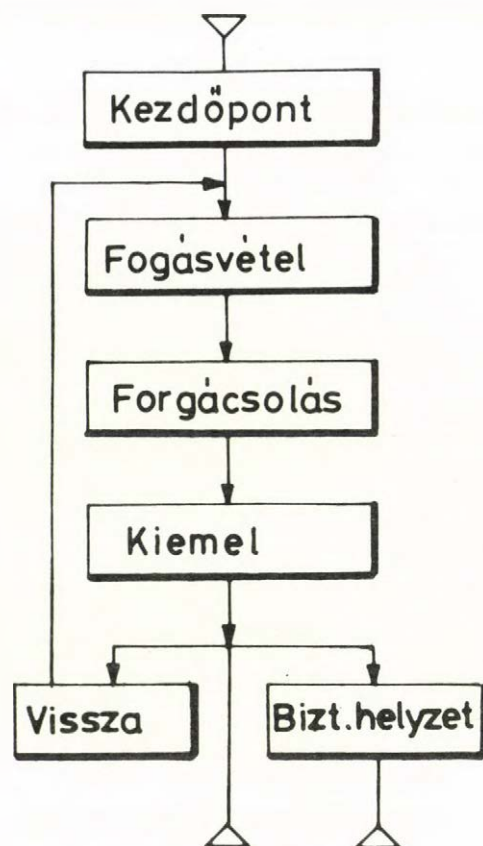
3. 32. ábra



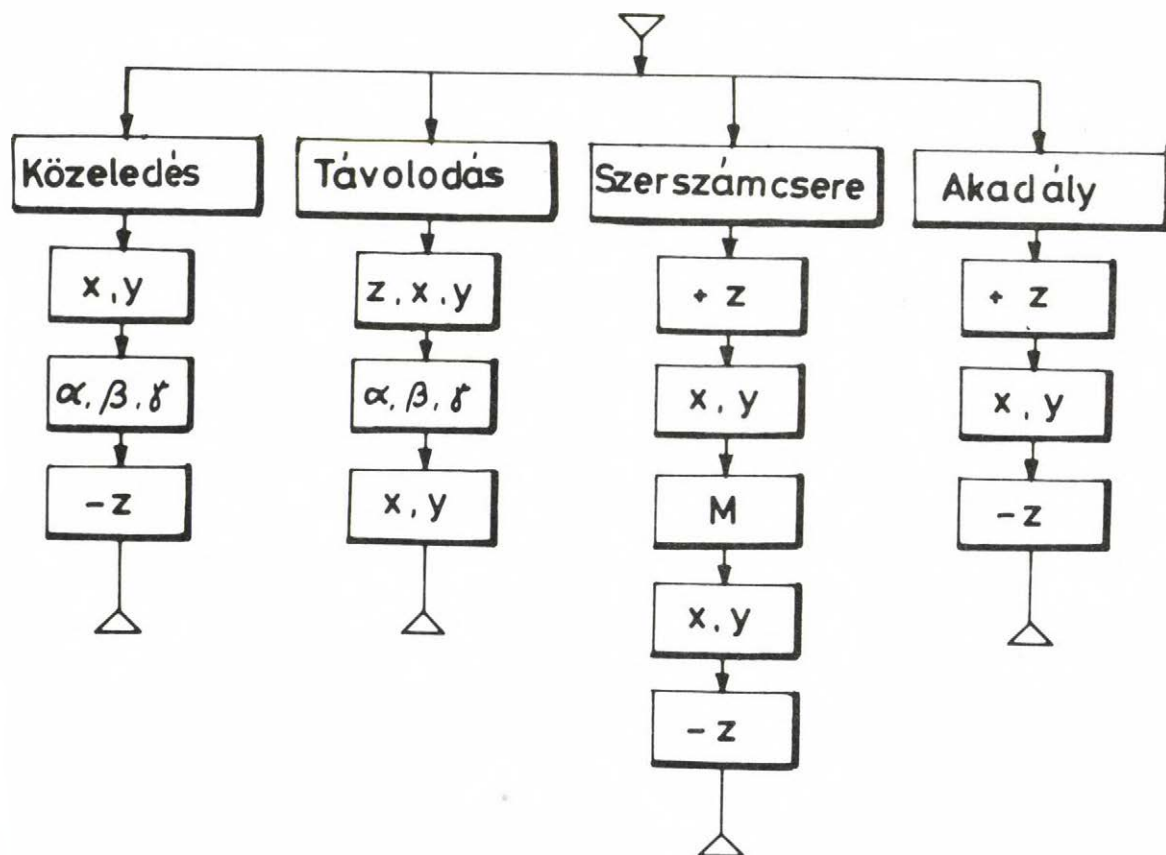
3. 33. ábra



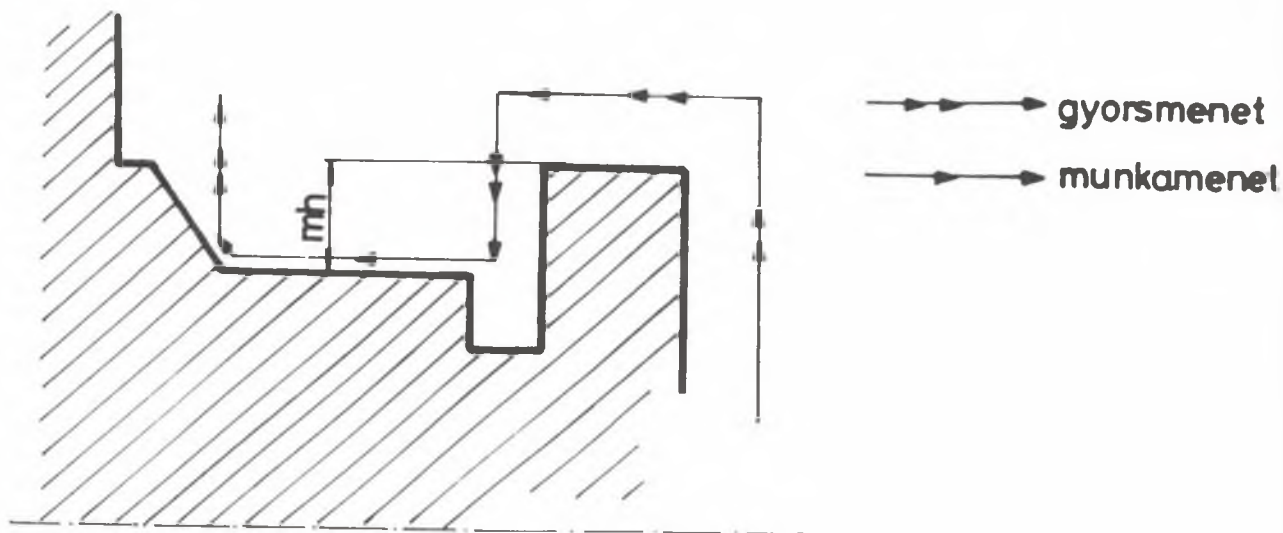
3.34. ábra



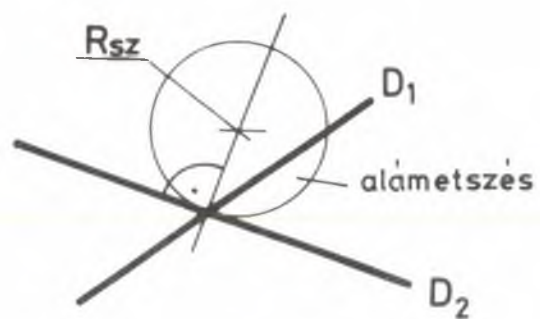
3.36. ábra



3.35 ábra



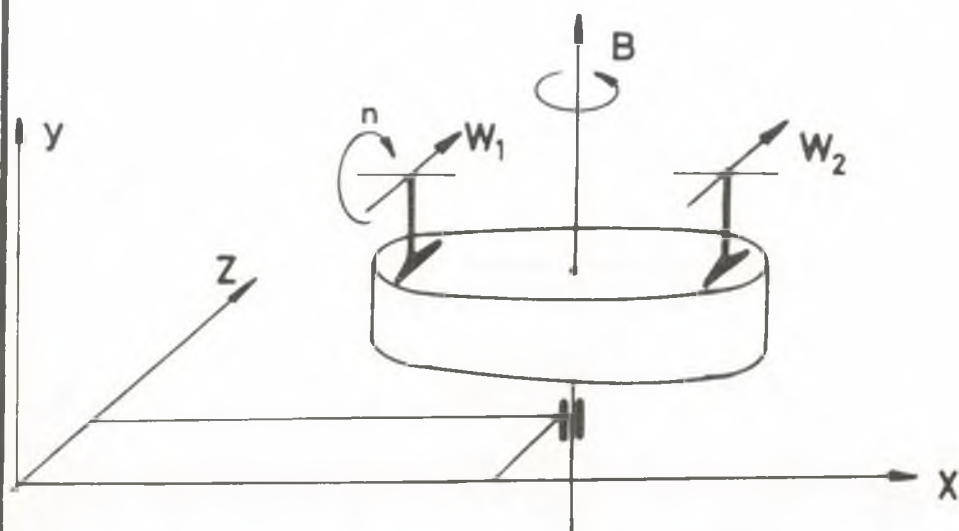
3.37. ábra



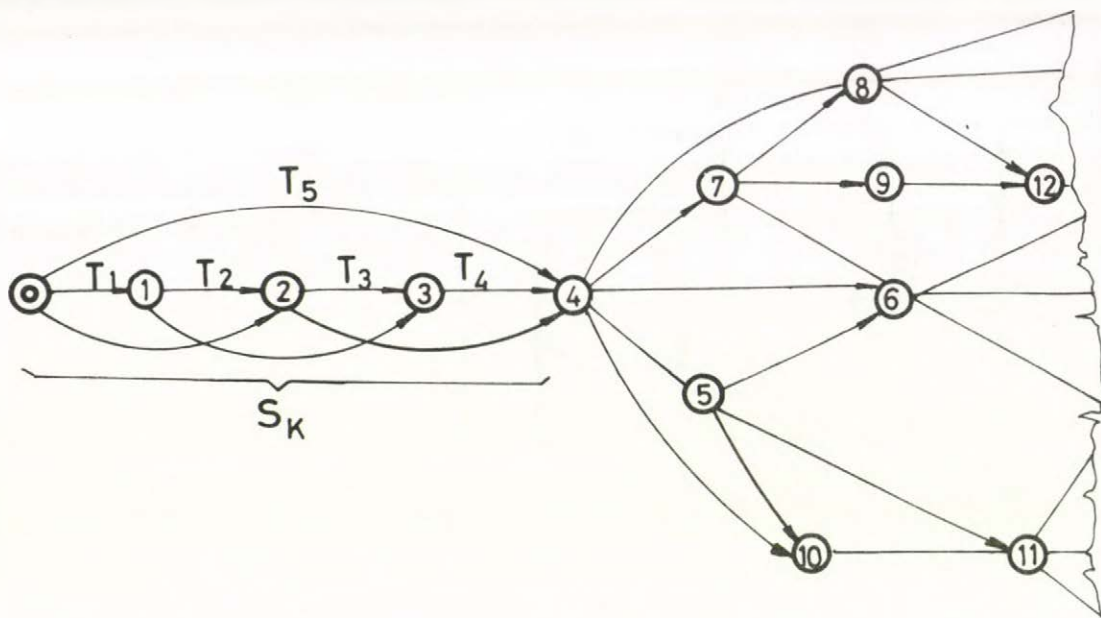
3.38. ábra



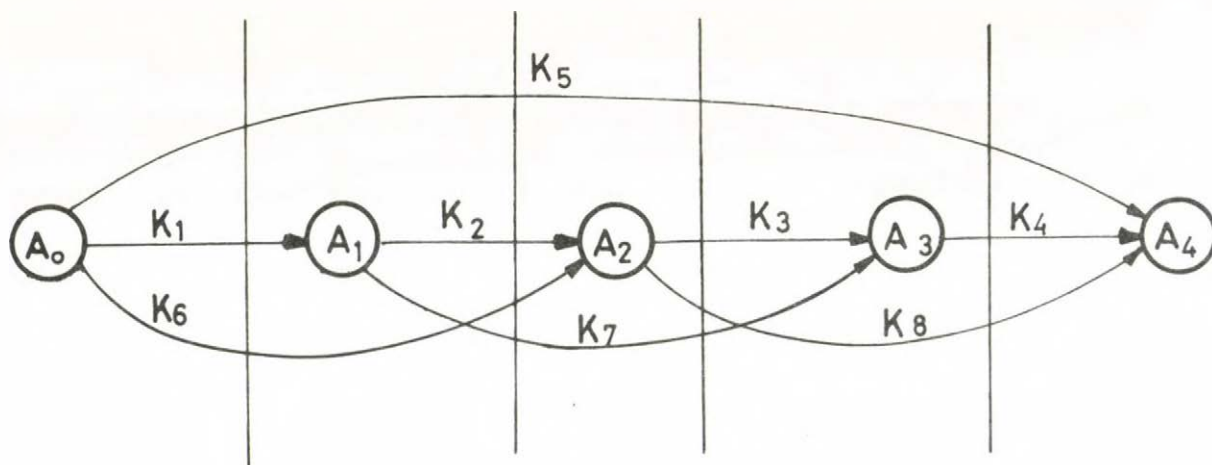
3.39. ábra



3.40. ábra



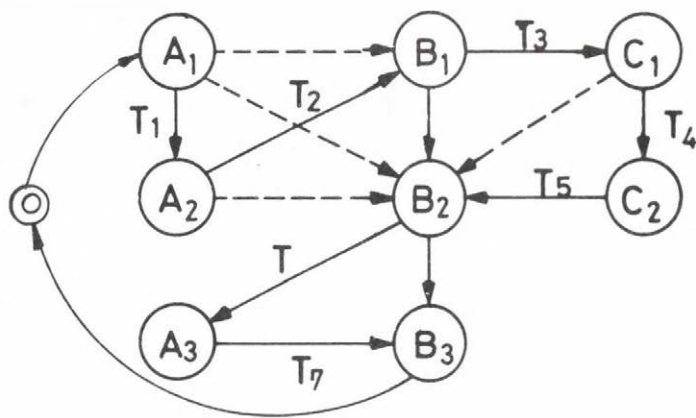
4. 1. ábra



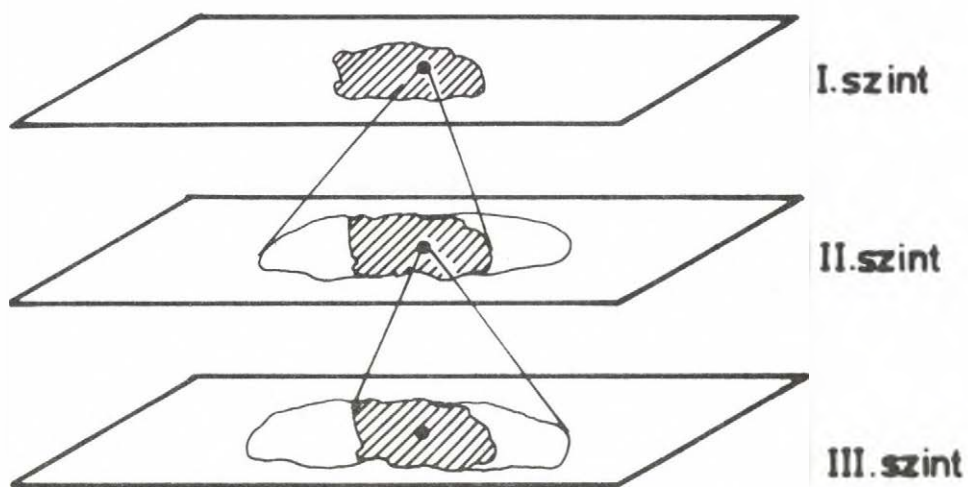
4. 2. ábra

	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4
A_0	0	1	1	0	1
A_1	0	0	1	1	0
A_2			0	1	1
A_3				0	1
A_4					0

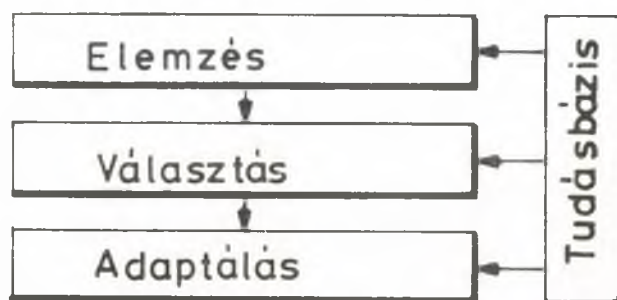
4. 3. ábra



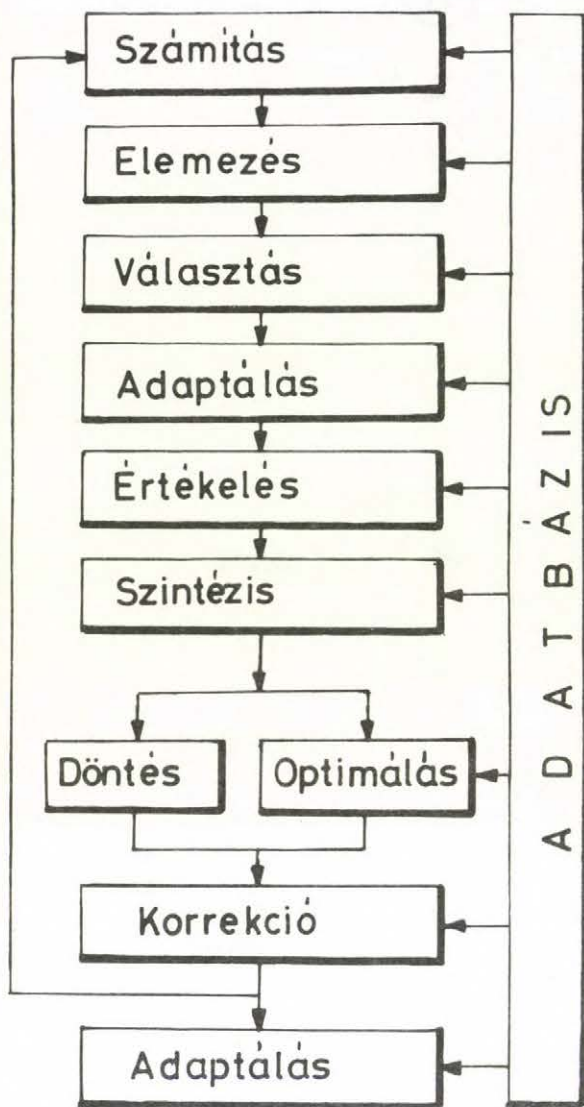
4. 4. ábra



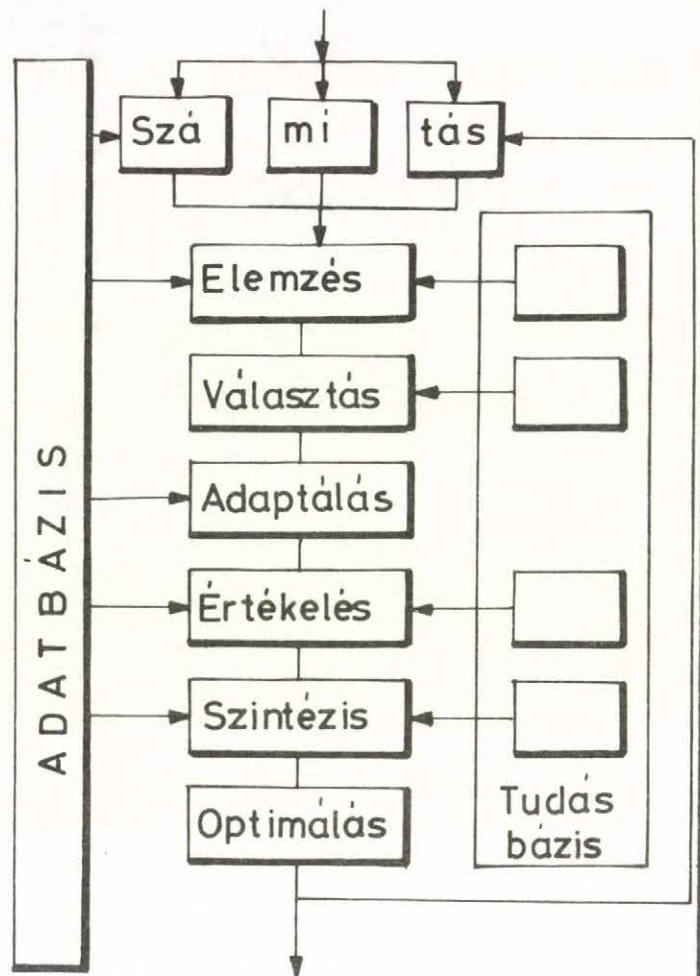
4. 5. ábra



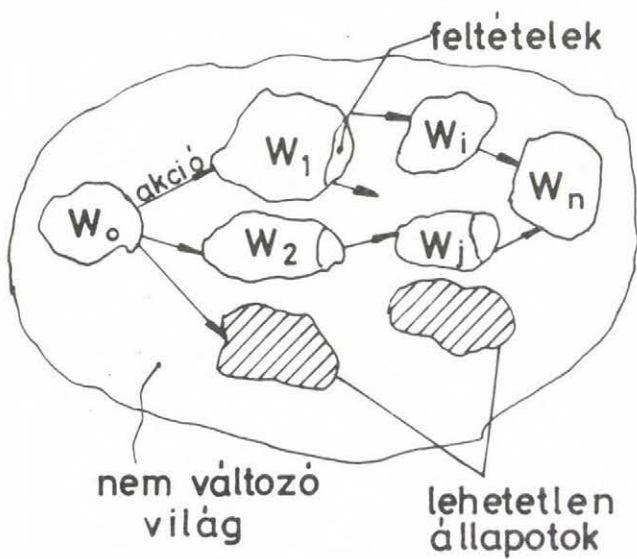
4. 6. ábra



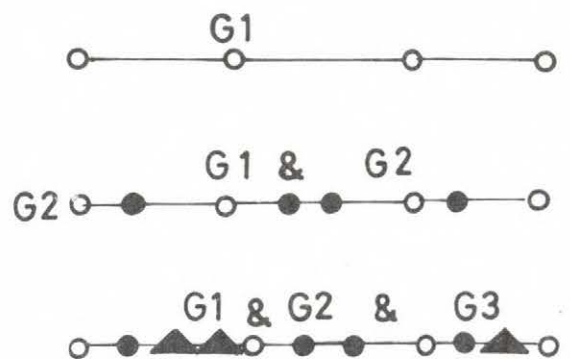
4. 7. ábra



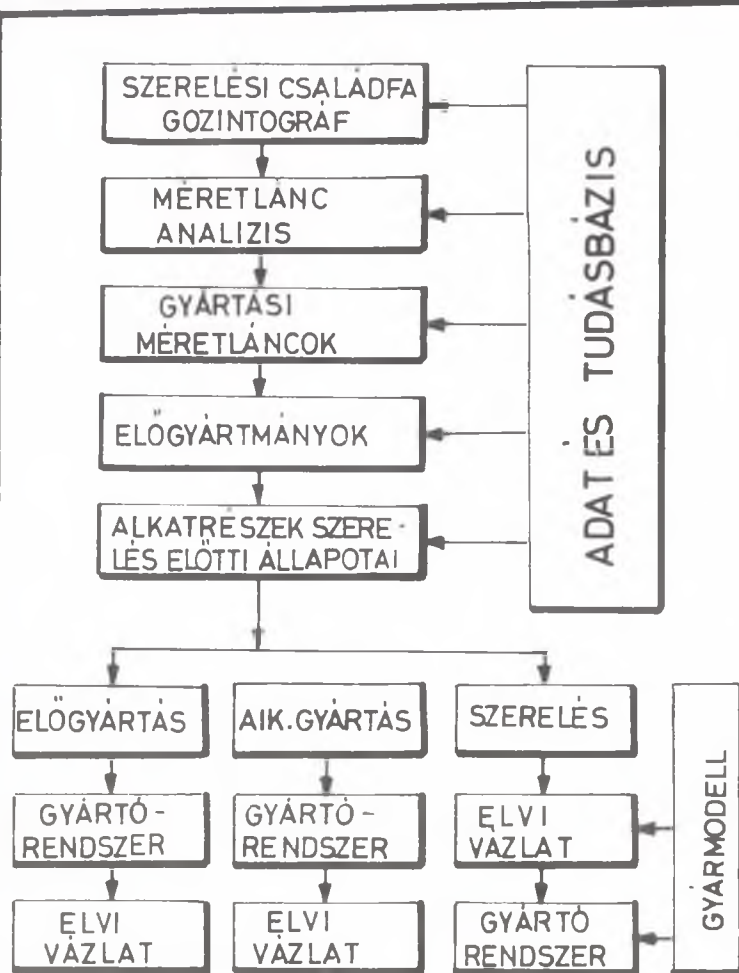
4. 8. ábra



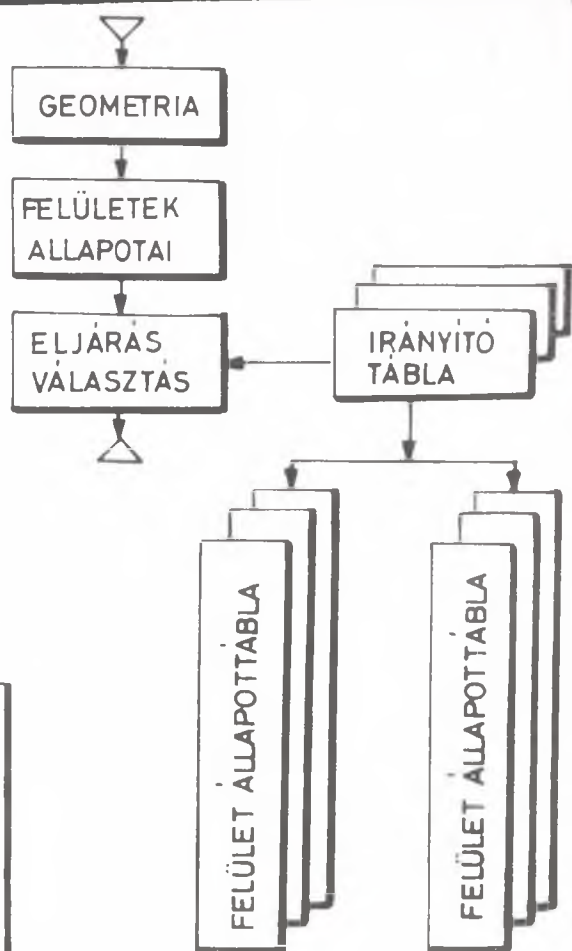
4. 9. ábra



4. 10. ábra



5.1. ábra



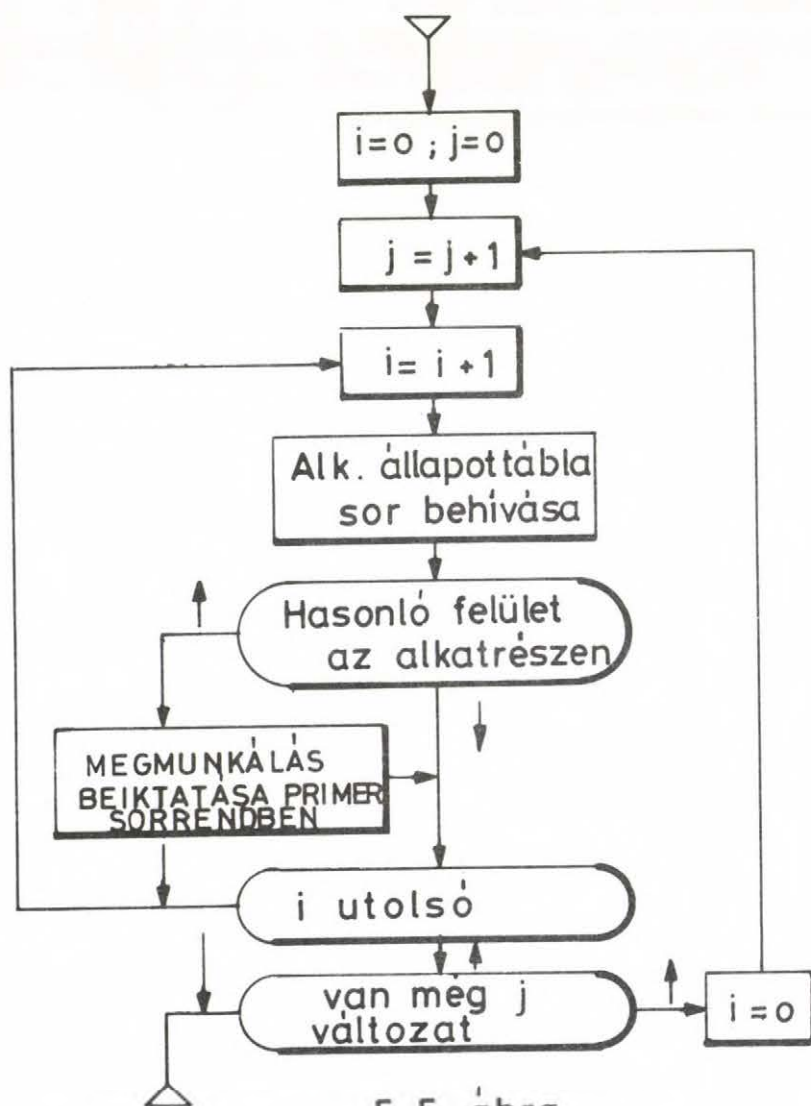
5.2. ábra

Felület: közepes külső forgásfelület		Gyártási variánsok	
		I	II
	Minőségi jellemzők	Alk: kissorozat Jell: kis költség	Alk: közepes sorozat Jell: nagy termelékenység
		Eljárások	
Sz 1	IT > 13; Ra > 100...	Nagyoló esztergalás	Nagyoló köszörülés
Sz 2	IT > 10	Félsimító eszterg.	Nagyoló kösz.
Sz(n-1)	IT 3, Ra > 0,1...	Hónolás	
Sz n	IT < 3, Ra < 0,01,	Tükrösítés	

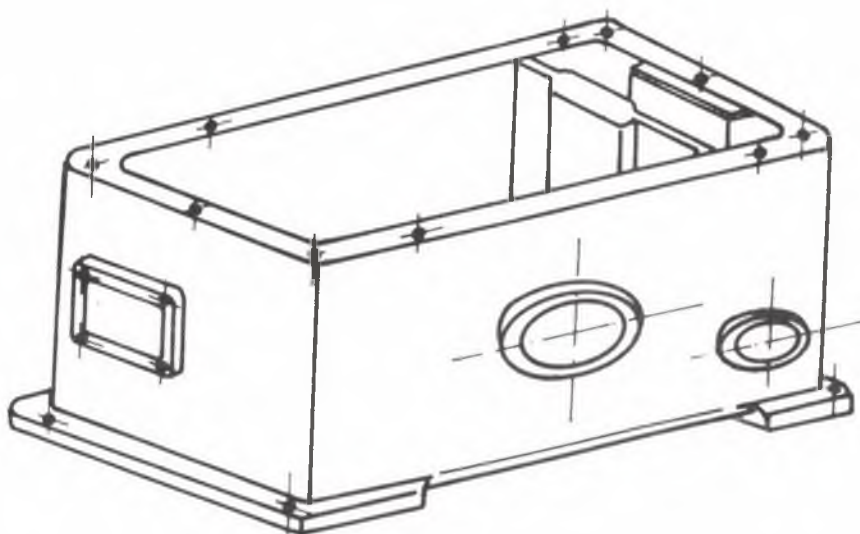
5.3. ábra

[illegible]

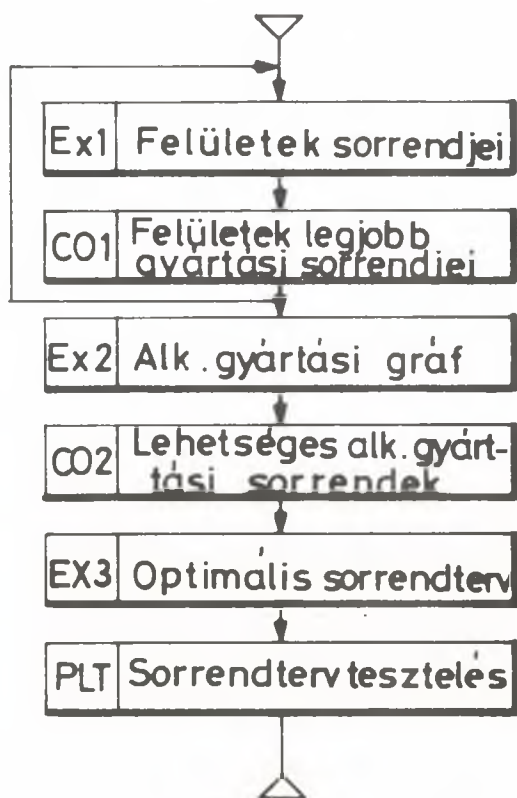
5. 4. àbra



5.5. abra.



5.6. ábra.



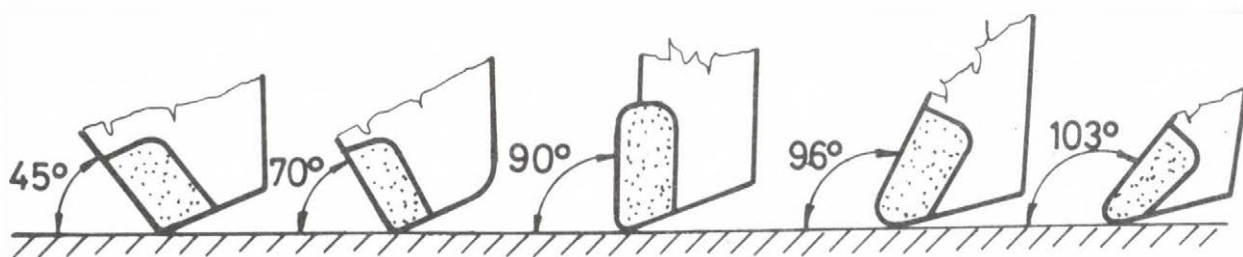
5.7. ábra



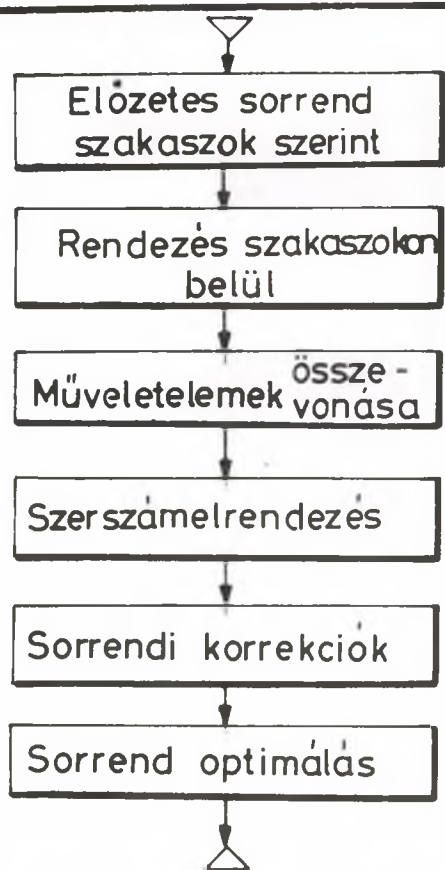
5.8. ábra



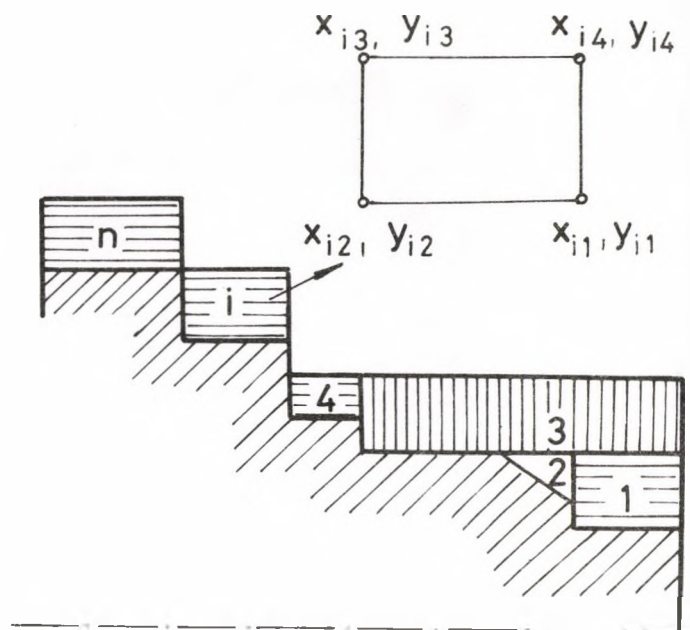
5.10. ábra



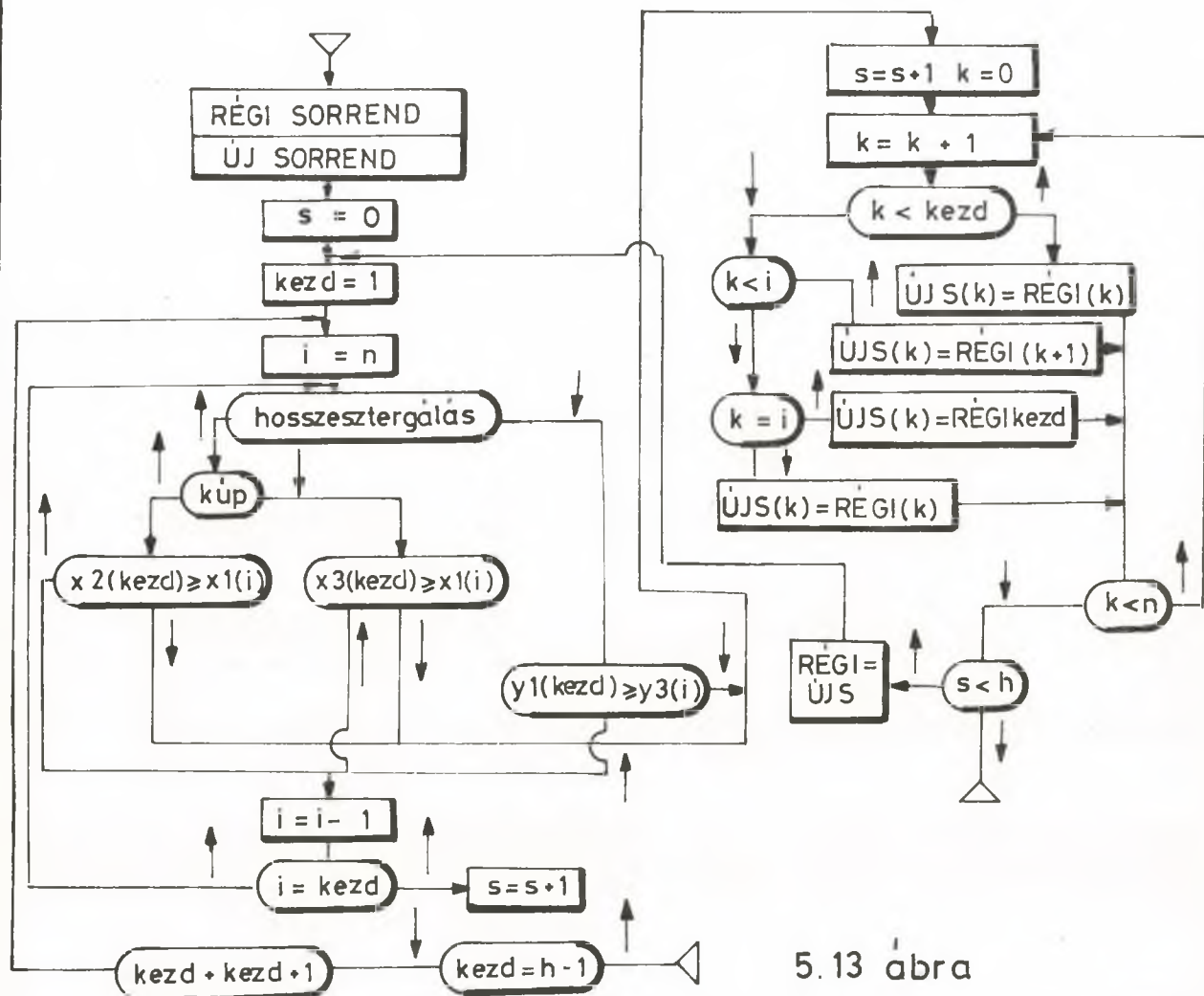
5.9. ábra.



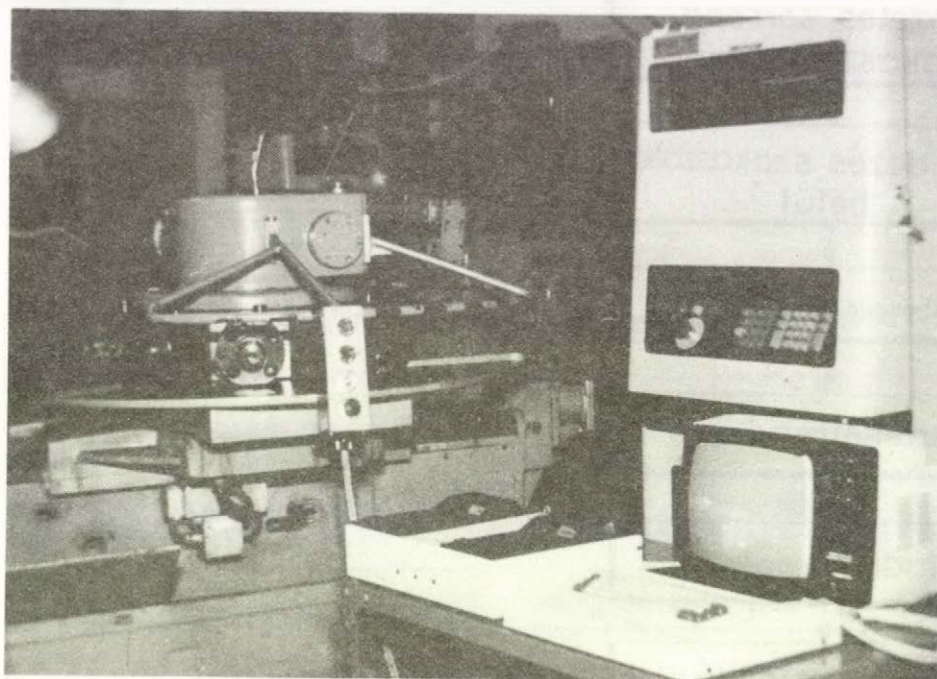
5. 11. ábra.



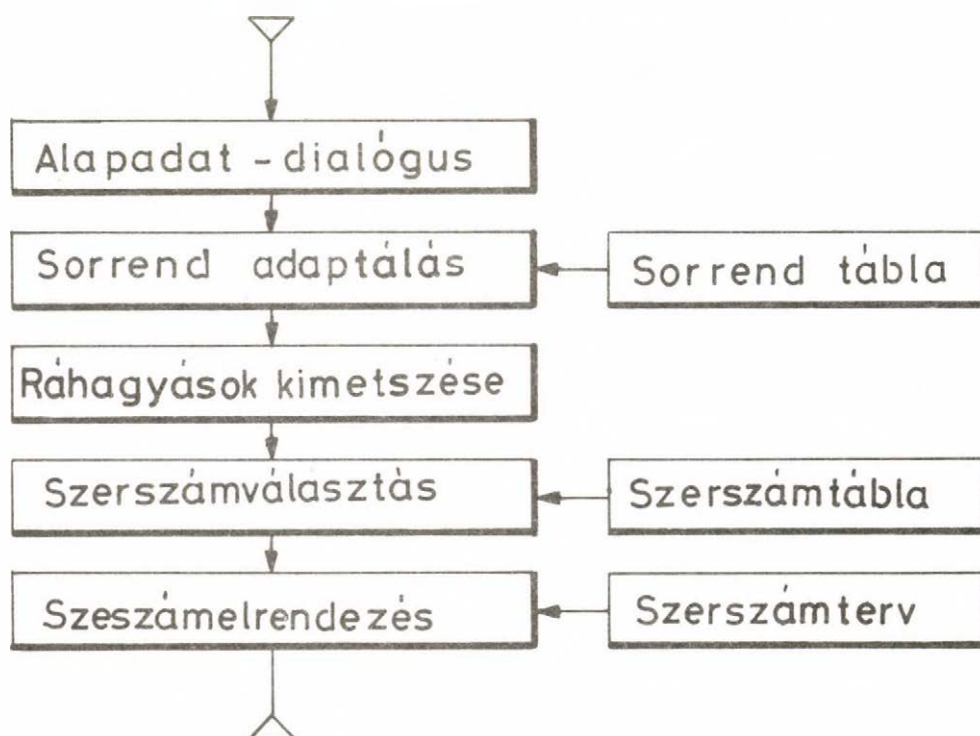
5. 12. ábra



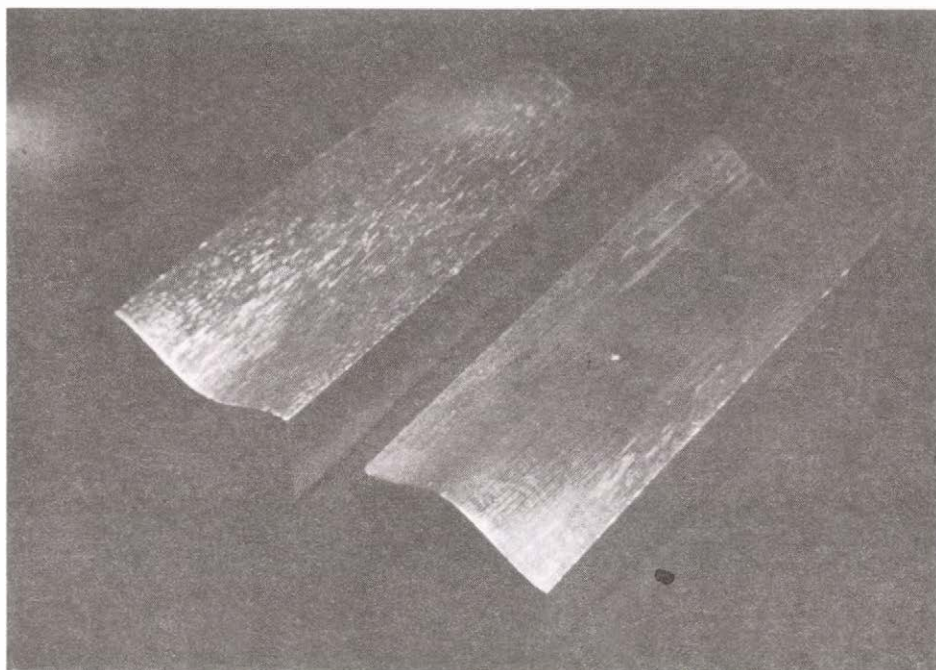
5. 13 ábra



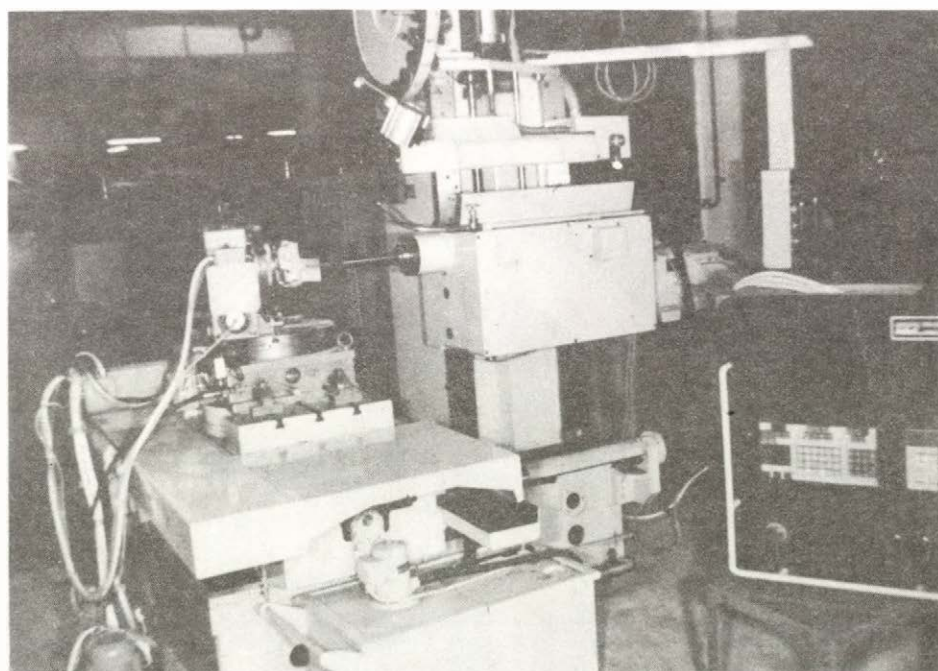
5.14. ábra.



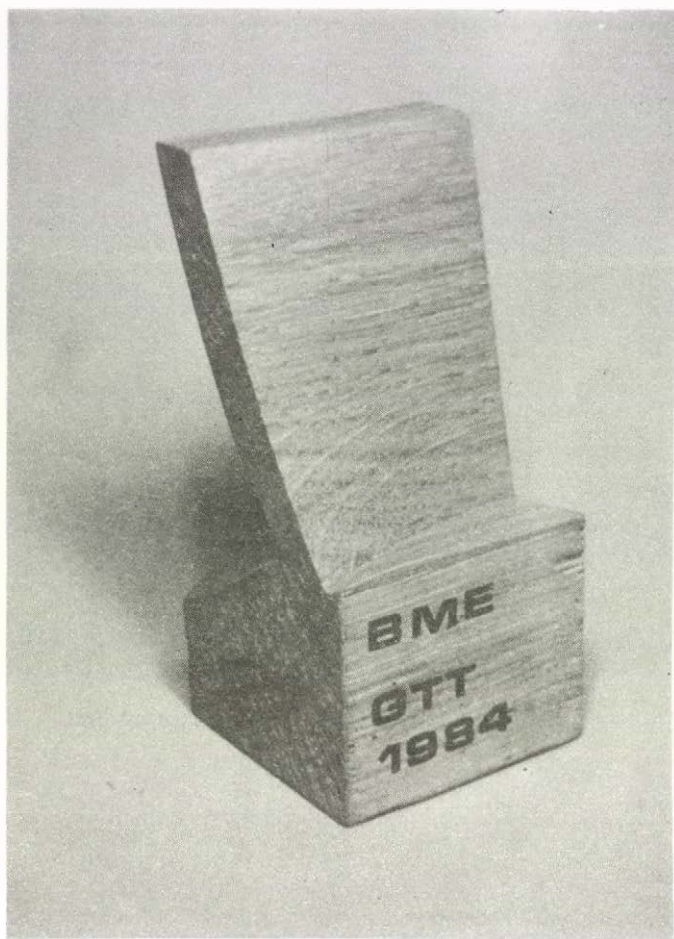
5.15. ábra



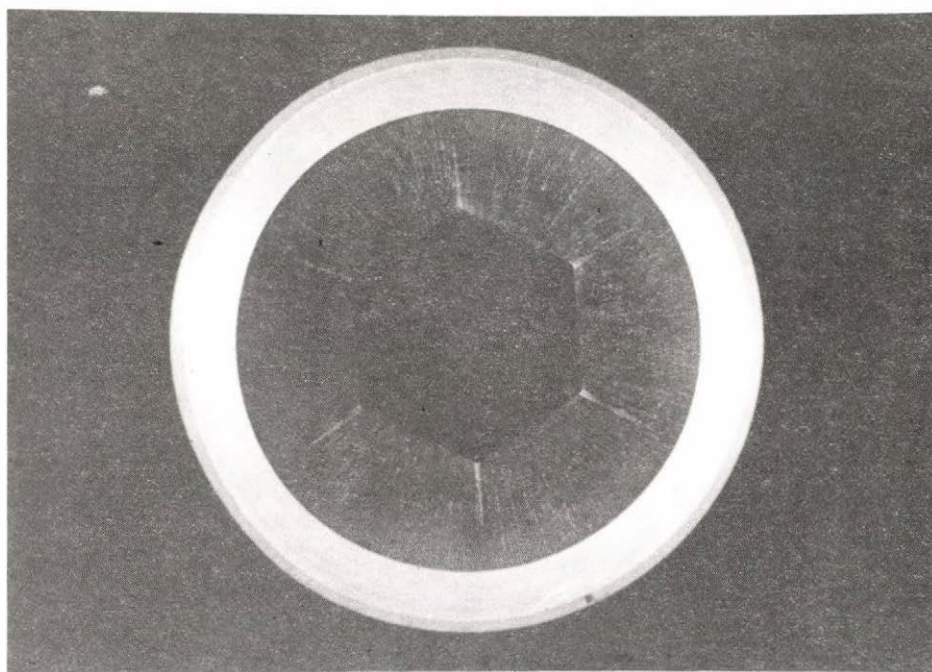
5.16.ábra



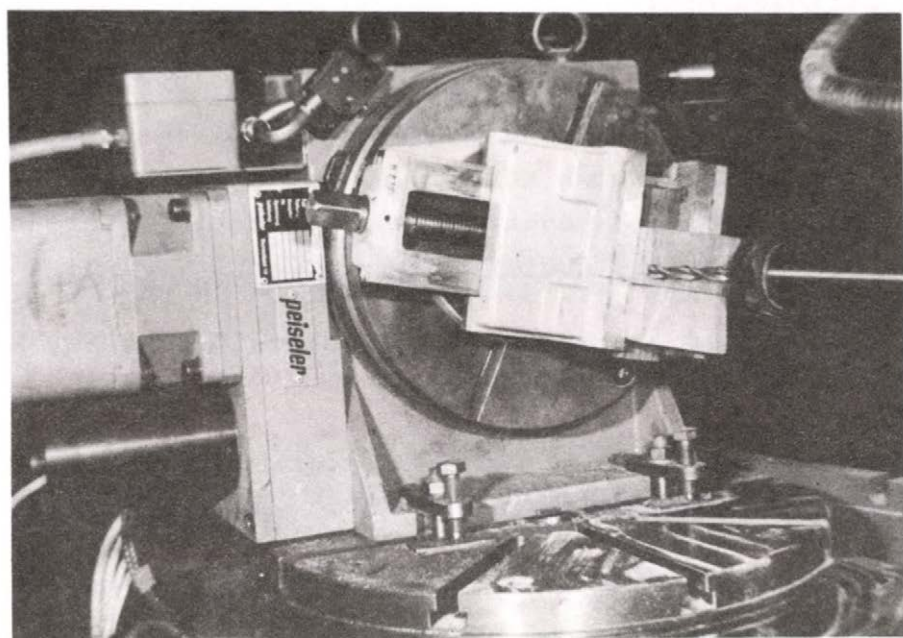
5.17.ábra



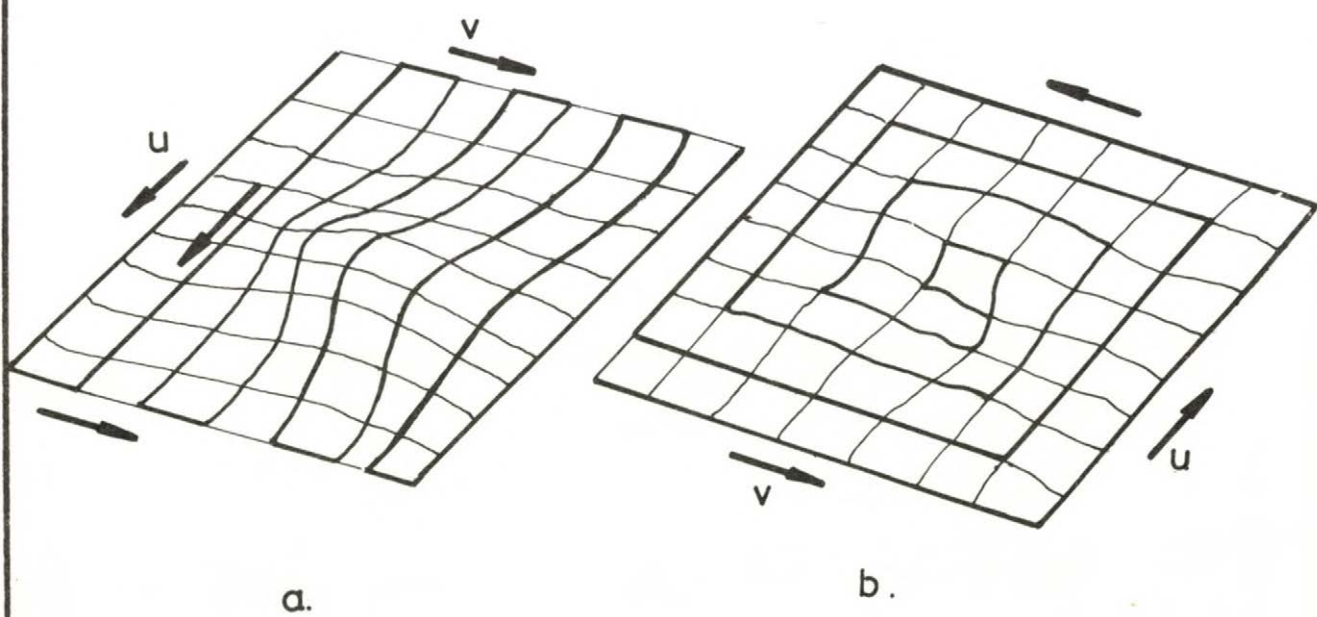
5.18.ábra



5.19.ábra



5.20. ábra



5.21. ábra

1984-BEN JELENTEK MEG:

- 155/1984 Deák, Hoffer, Mayer, Németh, Potecz, Prékopa, Straziczky: Termikus erőműveken alapuló villamos-energiarendszerek rövidtávú, optimális, erőművi menetrendjének meghatározása hálózati feltételek figyelembevételével.
- 156/1984 Radó Péter: Relációs adatbáziskezelő rendszerek összehasonlító vizsgálata
- 157/1984 Ho Ngoc Luat: A geometriai programozás fejlődései és megoldási módszerei
- 158/1984 PROCEEDINGS of the 3rd International Meeting of Young Computer Scientists.
Edited by: J. Demetrovics and J. Kelemen
- 159/1984 Bertók Péter: A system for monitoring the machining operation in automatic manufacturing systems
- 160/1984 Ratkó István: Válogatott számítástechnikai és matematikai módszerek orvosi alkalmazása
- 161/1984 Hannák László: Többértékű logikák szerkezetéről.
- 162/1984 Kocsis J. - Fetyiszov V.: Rugalmas automatizált rendszerek: megbízhatóság és irányítási problémák
- 163/1984 Kalavszky Dezső: Meleghengerművi villamos hurokemelő hajtás vizsgálata
- 164/1984 Knuth Előd: Specifikációs adatbázis modellek
- 165/1984 Petrőczy Judit: Publikációk 1983

1985-BEN EDDIG MEGJELENTEK:

- 166/1985 Radó Péter: Információs rendszerek számítógépes
tervezése
- 167/1985 Studies in Applied Stochastic Programming I.
Szerkesztette: Prékopa András
- 168/1985 Böszörményi László - Kovács László - Martos Balázs
Szabó Miklós: LILIPUTH

4472

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

